Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques

par

Pierre DAGNELIE

DEUXIEME PARTIE

UTILISATION D'UN CRITERE DE STATION DANS LES HETRAIES D'ARDENNE

INTRODUCTION

Au cours de la première partie de ce travail (*), nous avons étudié et comparé les différentes méthodes qui permettent d'estimer rapidement la qualité des peuplements forestiers et, en vue de son application aux hêtraies ardennaises, nous avons choisi un critère de station basé sur l'étude de la hauteur des peuplements (méthode dérivée de l'indice de station). Dans cette deuxième publication, nous envisagerons l'application de cette méthode aux hêtraies de l'Ardenne centrale, les résultats obtenus devant être analysés et interprétés au cours d'une troisième et dernière partie.

PLAN DE LA DEUXIEME PARTIE

(*) *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux, XXIV*, 249-284, 1956.

A. — CHOIX ET CARACTERISTIQUES DES STATIONS

I. — Choix des stations

Le but de nos recherches étant de mettre la productivité des hêtraies en rapport avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques, des stations de mesure ont été choisies sur la base des critères suivants :

— être homogènes au point de vue écologique, notamment se trouver en conditions topographiques et pédologiques uniformes ;

— être occupées par une végétation herbacée uniforme et suffisamment développée pour permettre d'identifier le groupement végétal ;

— comporter un nombre suffisant de bois relativement bien conformés et se développant localement dans des conditions analogues à celles d'une futaie équienne (densité suffisante, homogénéité des hauteurs et des grosseurs) ;

— permettre autant que possible la détermination de l'âge : afin de disposer de souches fraîches, les stations ont été généralement choisies dans les coupes exploitées au cours de l'hiver 1954-1955 (coupes ordinaires de 1955).

En laissant à l'expérimentateur l'appréciation de ces critères, on s'est écarté des méthodes d'échantillonnage strictement objectives. Mais, pour appliquer celles-ci au cas qui nous occupe, il aurait fallu localiser un très grand nombre de stations, parmi lesquelles on eut éliminé toutes celles ne répondant pas aux conditions énumérées ci-dessus : la définition exacte de ces dernières et leur vérification sur le terrain auraient nécessité des opérations longues et difficiles (définition et mesure d'une densité minimum de la végétation herbacée, d'une densité minimum du peuplement, de l'homogénéité des conditions de topographie, de sol et de peuplement). C'est pourquoi nous avons préféré localiser les places d'essai d'une manière rapide mais non-objective, en supposant toutefois que les risques d'erreur

étaient réduits en raison notamment de l'utilisation d'un grand nombre de stations. De plus, le premier choix (première stratification de l'échantillonnage) est indépendant de l'expérimentateur : la plupart des parcelles ont été localisées dans les coupes ordinaires de 1955, celles-ci constituant vraisemblablement un échantillon représentatif des hêtraies étudiées.

Quatre-vingts stations ont été choisies ainsi dans 550 hectares des coupes de 1955, représentant près de 5.000 hectares de hêtraies.

II. — Caractéristiques des stations

La liste des stations est reprise au tableau annexé à cette deuxième partie. Leurs caractéristiques y sont données par les sigles suivants.

a. Localisation géographique

Ar — Forêt de Saint-Hubert *(Arville)* (*) ;
Aw — Forêt communale d'*Awenne* ;
Br — Banalbois *(Bras)* ;
Fr — Forêt de *Freyr* (Lavacherie, Tenneville) ;
Ha — Forêt communale de *Hautfays* ;
Lu — Forêt de *Luchy* (Jehonville) ;
Mi — Bois de Smuid *(Mirwart)* ;
SH — Forêt de *Saint-Hubert* (Saint-Hubert) ;
SM — Forêt de *Saint-Michel* (Saint-Hubert, Nassogne) ;
Ve — Bois de *Vecmont* (Beausaint) ;
Vi — Forêt communale de *Villance* ;
Wa — Forêt de *Warinsart* (Bras).

Ces sigles sont consignés dans la colonne 2 de l'annexe. Nous indiquons en outre dans les colonnes 3 et 4 les coordonnées géographiques des stations, d'après la carte au 1/40000 de l'Institut Géographique Militaire.

b. Topographie et climat local

Pour chaque station, sont indiquées la *pente* en degrés (colonne 5), l'*orientation* (colonne 6), l'*altitude* (colonne 7) et la *topographie générale* (colonne 8) : bas de versant (BV), sommet de versant (SV), versant court (Vc), versant long et régulier (Vl), promontoire entre deux versants (Pr), replat le long d'un versant plus accentué (R), plateau (Pl).

Quelques *autres caractéristiques écologiques*, influençant notamment le climat local, sont également données (colonne 9) : peuplement fortement mis en lumière par des coupes secondaires (S), lisière à moins de 100 mètres du centre de la station (L), pessière à moins de 50 mètres du centre de la station (P), fange à moins de 50 mètres du centre de la station (F).

(*) Entre parenthèses, le nom de la commune.

c. Conditions édaphiques

Les *assises géologiques* (colonne 10) sont désignées suivant ASSEL-BERGHS (1946) (*) et, pour le massif de Serpont, suivant GAIBAR-PUERTAS et HOGE (1951). Dans l'ensemble, il s'agit de terrains acides, gréseux, schisteux ou quartzito-phylladeux, relevant du Cambrien (Ca), du Gedinnien (G_1 : assise de Mondrepuits ; G_2a : assise d'Oignies ; G_2bH : assise de Saint-Hubert, faciès de Saint-Hubert ; G_2bM : assise de Saint-Hubert, faciès de Sainte-Marie), du Siegenien inférieur (S_1) et du Siegenien moyen (S_2).

Les *types de sols* (colonne 11) correspondent à ceux définis par le Centre de Cartographie des Sols de Belgique (I. R. S. I. A.) et décrits notamment par PECROT et AVRIL (1954) :

A — Sols bruns acides, de profondeur supérieure à 80 centimètres (A_1) ou comprise entre 30 et 80 centimètres (A_2 ; profil limité par la roche en place, par un lit rocheux de gros débris ou par un horizon induré, présentant de fines taches de rouille). L'indice n désigne un drainage normal à excessif, sans dégradation superficielle nette ; p, un drainage modéré à excessif, avec dégradation superficielle (microgley ou micropodzol) ; i, un drainage imparfait, généralement avec dégradation superficielle (microgley).

P — Sols bruns podzoliques, de profondeur supérieure à 80 centimètres (P_1) ou comprise entre 30 et 80 centimètres (P_2).

G — Sols à gley prononcé à moins de 30 centimètres de profondeur.

Q — Lithosols, à gros débris de roches (plus de 50 %), généralement quartzitiques, à moins de 30 centimètres de profondeur.

d. Caractéristiques du peuplement

La *densité* du peuplement dans la station et aux alentours est caractérisée soit comme massif complet à couvert *épais* (E), soit comme massif de densité *moyenne* localement interrompu (M), soit comme massif *clair* ou clairiéré (C) (colonne 12).

La *vitalité apparente* du peuplement (colonne 13), la *conformation extérieure des fûts* (rectitude et longueur : colonne 14), l'*état sanitaire du bois* (absence de défauts, notamment de pourriture rouge et d'entre-écorce : colonne 15), et la *régénération* acquise (fourrés susceptibles d'être mis progressivement en lumière : colonne 16) sont qualifiés de *très bon* (BB), *bon* (B), *moyen* (M), *défectueux* (D) ou *très défectueux* (DD).

e. Types phytosociologiques

Les abréviations reprises dans la colonne 17 de l'annexe indiquent les types phytosociologiques, les relevés effectués dans les quatre-vingts

---

(*) Renvoi à l'index bibliographique de la deuxième partie (p. 407).

stations ayant été groupés en treize variantes que nous définirons brièvement en les mettant en concordance avec le système établi récemment par NOIRFALISE (1956).

Ainsi qu'il apparaît au tableau 2, nous avons adapté quelque peu ce système au but de nos recherches, notamment en y introduisant certaines subdivisions supplémentaires basées essentiellement sur la dominance de quelques espèces-clés *(Festuca silvatica, Luzula nemorosa)*.

Abréviat. utilisées: sous-associat.	UNITES DEFINIES PAR NOIRFALISE (1956) — Associations et sous-associations	UNITES DEFINIES PAR NOIRFALISE (1956) — Variantes	Abréviat. utilisées: variantes
F	Luzulo-Fagetum festucetosum	à Lamium galeobdolon; à Milium effusum et Poa Chaixii	Fr
F	Luzulo-Fagetum festucetosum	à Milium effusum et Poa Chaixii	Ft
F	Luzulo-Fagetum festucetosum	Sans équivalent	(F)
F / L	Luzulo-Fagetum festucetosum	typique	Fs / Lf
L	Luzulo-Fagetum caricetosum		Lr
L	Luzulo-Fagetum typicum	à Oxalis acetosella	Lt
L	Luzulo-Fagetum typicum	typique	Ls
I	Sans équivalent		Ir
I	Luzulo-Fagetum vaccinietosum	Sans équivalent	It
I	Luzulo-Fagetum vaccinietosum	Sans équivalent	Is
V	Quercetum sessiliflorae medioeuropaeum	typique	Vt
V	Quercetum sessiliflorae medioeuropaeum	à Leucobryum glaucum	Vg

TABLEAU 2 : Equivalence entre les unités phytosociologiques utilisées dans notre étude et celles définies par Noirfalise (1956)

F — *Hêtraies à Festuca silvatica*

Fr — Variante riche de pente : une station (57) correspond à la variante à *Lamium galeobdolon*, les quatres autres (17, 58, 63 et 78) à la variante à *Milium effusum* et *Poa Chaixii* de NOIRFALISE.

Ft — Variante de plateau, sur sols à drainage normal.

(F) — Variante humide de plateau : ce type particulièrement riche en espèces hygrophiles, et connu uniquement dans la Forêt de Saint-Michel sur sols bruns acides à drainage imparfait, n'a pas été décrit par NOIRFALISE.

Fs — Variante sèche de pente.

L — *Hêtraies à Luzula nemorosa*

Lf — Variante de plateau, comportant encore assez bien de fétuque (abondance-dominance 1 ou 2), et rangée par NOIRFALISE dans la hêtraie à fétuque, variante typique. Des différences floristiques nettes apparaissant entre les types Fs et Lf, en relation notamment avec les conditions topographiques et de drainage, et avec la productivité des peuplements (Cf. troisième partie), cette subdivision nous a paru souhaitable.

Lr — Hêtraie à luzule humide, avec fétuque peu abondante.

Lt — Hêtraie à luzule typique, sur sols à drainage imparfait.

Ls — Hêtraie à luzule typique, sur sols à drainage normal à excessif.

I — *Hêtraies intermédiaires*, dans lesquelles la luzule, parfois accompagnée de la fétuque, est associée à la myrtille et dans certains cas à *Leucobryum glaucum*.

Ir — Variante s'étendant sur des sols relativement riches à la faveur de conditions topographiques particulièrement défavorables (versants accentués exposés au sud ou à l'ouest) : on y trouve souvent *Leucobryum glaucum* et, simultanément, *Festuca silvatica*.

It — Variante de plateau, à florule particulièrement hygrophile, occupant des sols à drainage imparfait ou à gley, notamment en bordure des fanges et des terrains enrésinés.

Is — Variante intermédiaire entre les types Ls et Vt, occupant des sols à drainage normal à excessif.

Les subdivisions introduites dans ce groupe intermédiaire sont très apparentes sur le terrain, indiquées tant par la composition floristique que par les caractères écologiques des différentes variantes.

V — *Hêtraies à Vaccinium Myrtillus*, sans luzule, correspondant selon NOIRFALISE à des chênaies sessiliflores enrichies en hêtre (Quercetum sessiliflorae medioeuropaeum).

Vt — Variante typique.

Vg — Variante à *Leucobryum glaucum*.

Afin de ne pas étendre inutilement le texte, nous ne reproduirons pas les quatre-vingts relevés phytosociologiques, qui correspondent quant à leur composition à ceux publiés par NOIRFALISE (1956), sous réserve des nuances que nous avons personnellement introduites et que nous venons de mentionner. On trouvera d'ailleurs une documentation détaillée sur les forêts envisagées, en consultant, outre les auteurs déjà cités, BOUDRU (1945, 1946 et 1954a) et PONCELET et MARTIN (1947) en ce qui concerne les facteurs climatiques ; BOUDRU (1953-1954 et 1954b), HOYOIS (1949-1953) et WAUTHOZ (1950) en ce qui concerne les facteurs

historiques et extra-naturels ; AVRIL (1953), DECKERS (1953), DELECOUR et al. (1954), MANIL et al. (1953), MANIL et AVRIL (1955) et TONNARD (1955) en ce qui concerne les facteurs pédologiques ; et, enfin, LEBRUN et al. (1949), NOIRFALISE (1948-1949) et NOIRFALISE et GALOUX (1950) en ce qui concerne la phytosociologie.

La *répartition des divers types phytosociologiques* dans les massifs forestiers étudiés dépend des circonstances géo-pédologiques et physiographiques. Dans le tableau 3, nous indiquons le pourcentage de relevés des quatre grand types et du total appartenant à chacun des principaux massifs.

Massifs forestiers	F	L	I	V	Totaux
Ve	0	8	7	14	7
SM + SH + Aw	36	26	29	22	28
Fr	14	37	50	14	31
Ar + Mi + Vi	43	13	7	7	16
Br + Wa + Lu	0	13	7	36	14
Ha	7	3	0	7	4

TABLEAU 3 : Pourcentage de stations des quatre groupes de hêtraies et du total appartenant aux différents massifs forestiers

B. — TECHNIQUE DES MENSURATIONS

I. — Estimation des hauteurs

a. CHOIX D'UNE METHODE DE MESURE

L'estimation de la hauteur totale d'un arbre peut se faire à partir de deux mesures d'angle (α et β), effectuées l'une vers le sommet, l'autre vers le pied de l'arbre, par un observateur situé à une distance connue d du tronc (fig. 5).

Parmi les nombreux instruments destinés à effectuer de telles mesures, nous avons choisi pour notre travail le *niveau d'Abney*, qui consiste essentiellement en une lunette permettant de viser le pied ou le sommet de l'arbre, et en une nivelle dont on peut vérifier l'horizontalité par l'intermédiaire d'un miroir contenu dans la lunette. La lecture du résultat de mesure s'effectue de 10 en 10 minutes, ou même de 5 en 5 minutes, à l'aide d'un vernier.

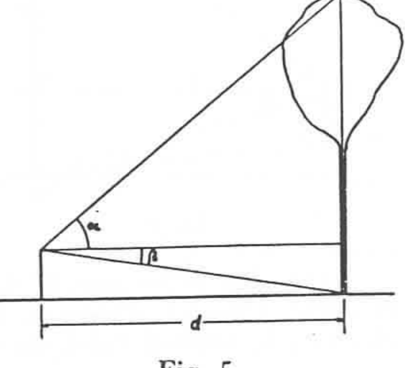


Fig. 5

Cet instrument possède les avantages suivants : utilisation simple et rapide ; grande précision relativement aux autres instruments peu encombrants et utilisables sans pied et par un seul opérateur (BELYEA 1931 - F.A. 12-3478) (*).

Le défaut principal du niveau d'Abney serait de ne pouvoir servir à la mesure d'angles très ouverts (supérieurs à 50°). On évite cet inconvénient en effectuant les mesures à partir d'un point suffisamment éloigné de l'arbre.

Il semble d'ailleurs qu'à une augmentation de la distance de visée correspond, dans certaines limites, une augmentation de la précision (BRUCE et SCHUMACHER 1950) : placé trop près de l'arbre, l'observateur en localise difficilement le sommet, et risque de commettre des erreurs importantes ; placé trop loin, il confond facilement la cime observée et les houppiers voisins. Des difficultés surgiraient aussi au cours de la mesure de longues distances, surtout en présence de branches mortes ou d'une végétation ligneuse basse (recru, plages de myrtille, etc.). La *distance* choisie en fonction de ces considérations est de 30 mètres et a été mesurée à l'aide d'un fin cable d'acier tendu parallèlement au sol.

b. CALCUL DES HAUTEURS

1. Recherche et démonstration d'une formule

Définitions

Les angles α et β, mesurés à l'aide du niveau d'Abney, sont considérés comme positifs lorsque la visée est dirigée vers le haut (au-dessus de l'horizontale), comme négatifs lorsqu'elle est dirigée vers le bas (en dessous de l'horizontale).

Les points A, B, C, D sont respectivement le pied et le sommet de l'arbre, les pieds et l'œil de l'observateur ; l est la distance mesurée au sol, de l'observateur à l'arbre.

Cinq cas doivent être envisagés, pour chacun desquels une démonstration rapide est basée sur quelques propriétés fondamentales de géométrie et de trigonométrie planes.

Fig. 6

Premier cas (Fig. 6) : A est à un niveau inférieur à C (β est négatif).

La distance horizontale d de l'œil de l'observateur à l'arbre est : $d = DE = AF = l \cos(CAF)$, AF étant horizontal et donc parallèle à DE.

(*) Les références (F.A. ...) renvoient à des résumés de publication parus dans la revue Forestry Abstracts. Le premier numéro est celui du volume contenant ce résumé ; le second, celui du résumé.

N° des stations	LOCALISATION			TOPOGRAPHIE							PEUPLEMENT						RESULTATS DENDROMETRIQUES						N° des stations
	Forêt	Longitude	Latitude	Pente	Orientation	Altitude	Topogr. génér.	Divers	Géologie	Pédologie	Couvert	Vitalité	Fûts	Etat sanitaire	Régénération	Type phytosociol.	Hauteur $x_{1..}$	Amplitude α_i	Variance σ_1^2	Circonférence	Age	$\frac{\alpha_i}{\sigma_1}$	
Col. n°	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Ve	1.2280	55.7370	15"	NW	420	Vc	.	S1	Q	M	M	D	D	D	Ir	24.5	5.95	5.5506	151	148	2.53	1
2	Ve	1.2310	55.7340	2"	(N)	455	Pl	L	Sl	A2i	E	B	M	B	D	Lt	27.0	1.75	0.5756	160	183	2.31	2
3	Ve	1.2250	55.7350	2"	(N)	440	R	.	S1	A2i	E	B	M	M	DD	Lt	28.6	1.00	0.1781	149	127	2.37	3
4	Ve	1.2230	55.7325	2"	(E)	455	Pl	P	S1	G	M	D	M	D	DD	Vt	26.2	1.25	0.2169	140	163	2.68	4
5	Ve	1.2575	55.7250	5"	N	370	SV	.	S2	P1	E	M	D	.	DD	Vt	21.1	5.30	3.8931	133	.	2.69	5
6	Ve	1.2490	55.7200	6"	E	430	Vl	.	S1	A2n	E	B	M	M	D	Ls	26.2	2.25	0.9232	150	146	2.34	6
7	SM	1.1175	55.6630	4"	WSW	510	Vc	.	S1	A2i	M	B	M	D	D	Lr	29.2	3.20	1.3505	171	211	2.75	7
8	SM	1.1150	55.6640	7"	SSW	500	Vl	.	S1	A2p	E	M	M	D	B	Ls	27.6	1.55	0.4431	164	173	2.33	8
9	SM	1.1215	55.6495	2"	(S)	520	Pl	L	S2	A2i	M	D	D	D	M	Lr	23.5	3.50	2.5206	132	126	2.20	9
10	SM	1.1185	55.6500	4"	W	515	SV	F	S2	A2i	M	D	D	D	D	It	25.3	4.90	4.0894	174	194	2.42	10
11	SM	1.1175	55.6455	4"	SW	500	Vl	.	S2	A2i	E	B	B	M	D	(F)	28.4	4.60	3.0431	162	153	2.64	11
12	SM	1.1170	55.6425	10"	SSW	450	Vl	.	S2	Q	M	D	D	D	D	Ls	26.9	4.75	4.4219	208	215	2.26	12
13	SM	1.1265	55.6395	30"	SSW	395	Vl	.	S2	A1n	E	M	B	.	D	Ir	27.4	1.80	0.4769	141	.	2.61	13
14	SM	1.1275	55.6415	25"	SSW	460	Vl	.	S2	P2	M	B	M	.	D	Ir	23.7	2.50	1.2319	127	.	2.25	14
15	SM	1.1345	55.6405	9"	SSE	440	Pr	.	S2	A2n	M	M	B	.	DD	Fs	29.1	3.40	2.0294	186	.	2.39	15
16	SM	1.1330	55.6410	3"	(S)	470	R	.	S2	A2n	E	B	B	.	DD	Ft	31.3	1.80	0.4469	163	.	2.69	16
17	SM	1.1335	55.6445	25"	NE	460	BV	.	S2	A1n	M	B	B	.	D	Fr	31.6	6.00	5.2094	171	.	2.63	17
18	SM	1.1265	55.6450	2"	(S)	510	R	.	S2	A2i	M	M	M	DD	DD	Lf	28.6	2.50	0.9894	167	157	2.51	18
19	SM	1.1095	55.6360	20"	NNE	415	V	.	S2	A1n	E	B	B	.	DD	Fs	29.9	2.00	0.8100	189	.	2.22	19
20	Aw	1.0765	55.6215	4"	WSW	490	SV	P	S1	P2	E	D	DD	D	DD	Vg	22.0	3.05	1.5081	152	178	2.48	20
21	Aw	1.0775	55.6230	1"	.	495	Pl	.	S1	A2p	M	B	D	M	D	Ls	24.4	1.30	0.2494	149	173	2.60	21
22	SH	1.1045	55.6335	15"	SSW	410	Vc	.	S2	P2	M	DD	DD	D	DD	Vg	24.0	1.55	0.4206	185	200	2.39	22
23	SH	1.1030	55.6325	6"	NNW	405	Pr	.	S2	A2i	M	D	D	D	DD	Vt	24.6	4.50	3.2631	155	186	2.49	23
24	SH	1.1095	55.6340	4"	W	445	R	.	S2	A2i	M	M	M	M	DD	Lf	26.9	3.20	1.6494	154	159	2.49	24
25	SH	1.1145	55.6300	7"	NW	495	Vc	.	S2	G	C	D	D	DD	DD	It	24.4	2.30	0.6631	159	194	2.82	25
26	SH	1.1175	55.6330	5"	N	490	R	.	S2	A2i	M	M	M	D	DD	Lf	28.1	1.95	0.6244	155	163	2.47	26
27	SH	1.1120	55.6350	4"	N	460	R	.	S2	A2n	M	B	M	D	DD	Lf	26.6	2.20	0.8494	161	132	2.39	27
28	SH	1.1075	55.6330	4"	W	440	V	.	S2	A2n	M	B	M	M	DD	Lf	28.8	3.75	1.9919	182	166	2.65	28
29	Fr	1.2350	55.6260	6"	NW	490	Vl	.	S1	A2p	M	M	M	D	DD	Ls	25.0	3.35	1.6744	151	140	2.59	29
30	Fr	1.2325	55.6260	10"	WNW	465	Vl	.	S1	P2	M	D	D	D	DD	Vg	20.7	2.35	0.9581	132	218	2.40	30
31	Fr	1.1515	55.6350	8"	N	500	Pr	.	S2	G	M	M	D	.	DD	It	26.2	4.20	2.6669	186	.	2.57	31
32	Fr	1.1455	55.6375	25"	NNE	455	V	S	S2	A2n	C	M	B	B	BB	Fs	28.8	6.25	6.4569	158	161	2.46	32
33	Fr	1.1465	55.6385	15"	SW	470	V	.	S2	P2	M	D	D	.	DD	Ir	22.9	5.00	3.7669	136	.	2.58	33
34	Fr	1.1445	55.6365	10"	N	480	Vl	S	S2	A2i	C	M	M	M	BB	Lr	28.8	5.60	4.0031	171	154	2.80	34
35	Fr	1.1460	55.6335	4"	NW	520	Pl	.	S2	A2i	M	B	M	B	B	Lr	25.8	3.85	2.4169	166	137	2.48	35
36	Fr	1.1805	55.6365	5"	NNE	530	V	S	S1	G	C	B	B	D	BB	It	28.5	5.65	4.5194	155	176	2.66	36
37	Fr	1.1880	55.6345	5"	ESE	510	R	P	S1	Q	M	M	D	DD	DD	It	26.7	2.95	1.6881	151	173	2.27	37
38	Fr	1.1880	55.6370	5"	E	505	Vc	.	S1	A1n	E	BB	B	D	DD	Ls	27.7	2.00	0.5606	148	160	2.67	38
39	Fr	1.1835	55.6319	3"	(E)	540	Pl	.	S1	A2n	M	B	M	D	B	Ls	27.0	1.70	0.4856	157	173	2.44	39
40	Fr	1.2090	55.6455	7"	SE	495	Vl	L	S1	A2n	M	M	M	D	BB	Lt	27.7	4.80	3.7537	168	184	2.48	40
41	Fr	1.2050	55.6140	5"	SSE	510	Vl	S	S1	A2i	C	B	B	B	BB	Lt	26.5	1.95	0.6506	138	150	2.42	41
42	Fr	1.2085	55.6295	2"	(N)	420	R	SL	S1	A2p	C	D	M	D	B	Is	26.0	4.20	2.7419	170	165	2.54	42
43	Fr	1.2075	55.6260	6"	NNW	445	Vl	.	S1	A2n	M	M	B	D	B	Lt	29.9	3.00	2.1556	167	162	2.04	43
44	Fr	1.1585	55.6165	2"	(E)	535	Pl	F	S1	A2i	C	D	D	D	B	It	22.5	2.20	1.0556	159	121	2.14	44
45	Fr	1.1625	55.6115	5"	SE	510	Vl	P	G2bH	A2i	C	M	D	B	D	Lt	27.8	4.55	2.7356	175	172	2.75	45
46	Fr	1.1660	55.6525	0"	.	535	Pl	S	S2	A2i	C	B	M	M	M	Lf	27.5	3.45	1.8162	176	159	2.56	46
47	Fr	1.1685	55.6535	2"	(E)	530	V	.	S2	A2i	M	M	M	B	DD	Lr	28.3	2.55	1.2519	157	163	2.28	47
48	Fr	1.1675	55.6505	2"	(S)	530	BV	S	S2	A2i	C	M	D	M	BB	It	26.9	2.05	0.5331	159	148	2.81	48
49	Fr	1.1980	55.6195	5"	NNE	460	Vl	.	S1	A2i	E	M	M	.	B	Lt	27.9	1.55	0.4194	142	.	2.39	49
50	Fr	1.2000	55.6155	25"	ENE	495	BV	.	S1	A2n	M	DD	B	.	B	Fs	31.1	8.15	12.3381	180	.	2.32	50
51	Fr	1.1860	55.6225	5"	SW	495	Vl	.	S1	A2n	M	B	B	D	D	Ls	24.9	1.45	0.3219	141	156	2.56	51
52	Fr	1.1900	55.6245	6"	ESE	490	V	.	S1	Q	M	M	M	.	B	Lt	26.5	5.30	4.1769	148	.	2.59	52
53	Fr	1.1945	55.6225	10°	SE	450	V	.	S1	P2	M	D	D	B	M	Vt	24.5	2.65	1.1806	138	156	2.44	[illegible]
54	Ar	1.0090	55.6065	5°	W	365	Vl	.	G2bH	A1n	E	B	B	B	D	Ft	31.0	2.50	1.1206	165	[illegible]	[illegible]	[illegible]
55	Ar	1.0130	55.6030	20"	SSE	370	Vc	.	G2bH	A2n	E	M	D	.	M	Ir	28,4	2,60	1,0187	157		2,58	55
56	Ar	1.0070	55.6080	4"	WNW	345	Vl	S	G2bH	A1n	C	BB	B	B	M	Ft	31.8	1.15	0.2144	179	159	2.43	56
57	Ar	1.0075	55.6090	20"	NNW	320	V	S	G2bH	A1n	C	BB	B	B	B	Fr	35.7	2.55	0.8906	181	163	2.70	57
58	Ar	1.0070	55.6100	10"	NNW	305	BV	S	G2bH	A1n	C	B	B	M	B	Fr	33.7	2.05	0.9137	163	152	2.15	58
59	Ar	1.0190	55.6115	20"	SW	385	Vc	.	G2bH	P2	E	D	DD	.	DD	Vg	18.4	5.60	4.5819	129	.	2.62	59
60	Ar	1.0175	55.6105	15"	NNW	375	Vc	.	G2bH	A2n	M	B	B	.	DD	Fs	31.7	3.25	1.7194	178	.	2.48	60
61	Ar	1.0235	55.6080	7"	NW	430	Vc	.	G2bH	A2n	M	M	D	.	D	Lf	27.2	2.90	1.4194	186	.	2.43	61
62	Mi	0.9870	55.6020	1"	.	405	Pl	.	G2bH	A2i	M	BB	B	.	DD	Lt	30.1	1.85	0.6525	165	.	2.29	62
63	Mi	0.9920	55.6010	6"	NNE	360	SV	.	G2bH	A2n	M	BB	B	.	DD	Fr	34.8	0.95	0.1906	174	.	2.18	63
64	Vi	0.9545	55.5805	3"	(N)	400	Vl	.	G2a	A1n	M	B	M	B	M	Ls	26.8	2.50	1.0381	178	151	2.45	64
65	Vi	0.9585	55.5795	2"	.	405	Pl	L	G2a	A1n	M	BB	M	B	DD	Lt	29.7	1.60	0.5881	154	148	2.09	65
66	Vi	0.9560	55 5770	2"	.	405	Pl	.	G2a	A1p	M	B	D	M	DD	Ls	24.6	3.55	2.0481	167	160	2.48	66
67	Br	1.1020	55.5280	3"	(W)	510	Pl	.	G2bH	A1n	M	D	D	D	D	Ls	23.4	1.75	0.6175	148	153	2.23	67
68	Br	1.1030	55 5245	6"	SSW	465	V	.	G2bH	A2p	M	DD	D	D	DD	Lt	27.4	1.50	0.3231	160	143	2.64	68
69	Br	1.0995	55 5270	10"	S	495	Vc	.	G2bH	Q	M	DD	DD	DD	DD	Vt	18.9	4.30	2.8969	118	148	2.53	69
70	Wa	1.0890	55.5020	6"	NNW	480	Vl	.	Ca	A1p	M	D	D	D	DD	Ls	26.3	2.70	1.4206	159	174	2.27	70
71	Wa	1.0920	55.5050	4"	NW	485	Vl	.	Ca	P2	C	DD	DD	D	DD	Vt	22.5	2.05	0.8019	160	178	2.29	71
72	Wa	1.1070	55.5030	0"	.	485	BV	.	G2bH	P1	C	DD	DD		DD	Vt	23.6	1.85	0.6606	168	.	2.28	72
73	Wa	1.1145	55.5005	6"	N	515	Vl	.	G2bH	P2	E	D	DD	D	DD	Vt	22.1	3.40	2.9612	140	196	1.98	73
74	Wa	1.1150	55.4990	7"	NNW	535	Vl	.	G2bH	P1	C	D	DD	D	DD	Vt	21.2	5.05	3.4381	143	182	2.73	74
75	Wa	1.1120	55.4990	6"	NNW	520	Vl	.	G2bH	A1p	M	D	D	D	D	Is	24.0	4.40	3.0269	161	162	2.53	75
76	Lu	0.9990	55.4460	1"	(N)	460	Pl	.	G2bM	A2n	E	D	D	.	DD	Lt	28.1	2.80	1.0381	161	.	2.75	76
77	Lu	0.9980	55.4470	5"	SW	455	Vc	.	G2bM	A1n	E	D	DD	.	DD	Ls	26.8	2.15	0.7719	143	.	2.45	77
78	Ha	0.7310	55.5900	5"	N	385	Vc	.	G2bH	A2n	M	BB	B	.	D	Fr	33.2	2.10	0.6419	192	.	2.62	78
79	Ha	0.7085	55.5975	0"	.	385	Pl	S	G2bH	A2i	C	BB	M	.	B	Lt	28.2	3.75	1.9381	182	.	2.69	79
80	Ha	0.7160	55.5755	3"	(W)	405	Pl	L	G2bH	P1	M	B	D	.	D	Vt	26.7	0.15	0.0031	158	.	2.69	80

De plus :

$$l \cos (\text{CAF}) = l \cos (\text{FAD} - \text{CAD}) = l \cos [(-\beta) - \gamma],$$

d'où on titre :

$$d = l \cos (-\beta - \gamma) = l \cos (\beta + \gamma).$$

D'autre part, la hauteur totale H de l'arbre est :

$$\text{H} = h_1 + h_2 = d\ [\text{tg}\alpha + \text{tg}\ (-\beta)] = d\ (\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta)$$

d'où : $\text{H} = l\ (\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta) \cos (\beta + \gamma)$.

Deuxième cas (Fig. 7) : A est à un niveau intermédiaire entre C et D (β est négatif).

On a, de même :

$$d = \text{DE} = \text{AF} = l \cos (\text{CAF})$$
$$= l \cos (\text{CAD} - \text{FAD}) = l \cos [\gamma - (-\beta)]$$
$$= l \cos (\beta + \gamma),$$

et :

$$\text{H} = h_1 + h_2 = d\ [\text{tg}\alpha + \text{tg}(-\beta)]$$
$$= d\ (\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta)$$
$$= l\ (\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta) \cos (\beta + \gamma).$$

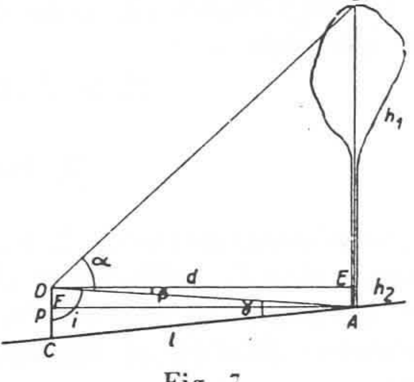


Fig. 7

Troisième cas (Fig. 8) : A est à un niveau supérieur à D (β est positif).

On a par analogie :

$$d = \text{DE} = \text{AF} = l \cos (\text{CAF})$$
$$= l \cos (\text{FAD} + \text{DAC}) = l \cos (\beta + \gamma)$$

et :

$$\text{H} = h_1 - h_2 = d\ (\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta)$$
$$= l\ (\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta) \cos (\beta + \gamma).$$

Quatrième cas :

A est au même niveau que C.

Cinquième cas :

A est au même niveau que D.

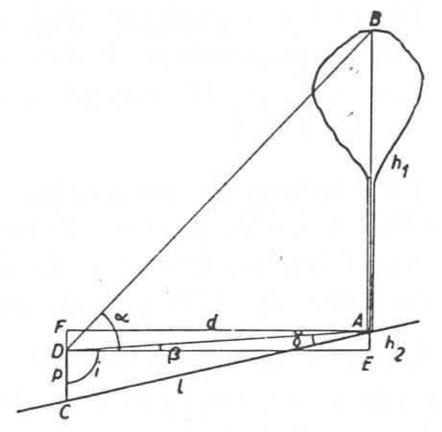


Fig. 8

Ces deux conditions limites sont des cas particuliers auxquels les démonstrations générales sont applicables.

Formule générale

Il apparaît donc que la formule $\text{H} = l\ (\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta) \cos (\beta + \gamma)$ est générale. De plus, dans tous les cas, le triangle CAD donne la relation suivante :

$$\frac{\text{p}}{\sin \gamma} = \frac{l}{\sin i} = \frac{l}{\sin (90^\circ - |\beta|)}$$

et $\sin \gamma = \frac{p}{l} \sin (90° - |\beta|)$, où p = CD = 1,65 mètre environ.

Pour $\beta = 0°$, $\sin \gamma = \frac{p}{l} = \frac{1.65}{30}$ et $\gamma = 3° 9'$;

pour $|\beta| = 15°$, $\sin \gamma = \frac{p}{l} \sin (75°) = \frac{1.65 \times 0.966}{30}$ et $\gamma = 3° 3'$.

En considérant uniformément $\gamma = 3°$, on introduit une erreur égale, dans un cas extrême, à

$$\frac{\cos (\beta + 3°) - \cos (\beta + 3° 9')}{\cos (\beta + 3° 9')} = 0.05\ \%.$$

L'insignifiance de cette erreur permet d'écrire comme suit la *formule définitive :*

$$H = l\ (\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta)\ \cos (\beta + 3°).$$

2. Résolution graphique

La détermination de la hauteur peut être effectuée à l'aide d'abaques à points alignés *(alignment charts)* : une telle solution graphique a été mise au point en suivant les principes exposés par certains forestiers américains (BRUCE et REINEKE 1929 et 1931 - BRUCE et SCHUMACHER 1950).

a. *Graduation des axes*

L'axe I des abaques (fig. 9) représente les valeurs de tgα de 0.625 à 1.150, correspondant à des valeurs de α comprises entre 32 et 49°. De même, l'axe II s'étend aux valeurs tgβ = — 0.231 à 0.123, soit β = — 13 à + 7°.

En fonction de propriétés des triangles semblables, l'axe III, gradué de 0.525 à 1.375, permet d'effectuer la différence (tgα — tgβ), tandis que par l'intermédiaire de la courbe logarithmique on passe à l'axe IV représentant, de 1.20 à 1.61, les valeurs de log 30 (tgα — tgβ).

L'axe V fait intervenir les valeurs logarithmiques de la correction de pente : log cos (β + 3°), de 0.0000 à 0.0075, soit pour β = — 3 à — 13° et — 3 à 7°.

En sommant les valeurs des axes IV et V, on obtient le logarithme de la hauteur (axe VI), de 1.2 à 1.6, ce qui correspond à des hauteurs de 16 à 40 mètres. On a en effet :

$$\log H = \log [30\ (\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta)] + \log \cos (\beta + 3°).$$

b. *Utilisation des abaques*

Le mécanisme d'utilisation des abaques ainsi obtenues est le suivant :

1. Soient, par exemple, $\alpha = 42°20'$ et $\beta = -10°00'$;

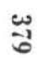


Fig. 9. — Détermination des hauteurs d'arbres en fonction de deux mesures d'angle : résolution graphique

α	β										
	—13°	—12°	—11°	—10°	—9°	—8°	—7°	—6°	—5°	—4°	—3°
26°	21.2	20.8	20.3	19.8	19.3	18.8	18.3	17.8	17.2	16.7	16.2
27°	21.9	21.4	20.9	20.4	19.9	19.4	18.9	18.4	17.9	17.4	16.9
28°	22.5	22.1	21.6	21.1	20.6	20.1	19.6	19.1	18.6	18.0	17.5
29°	23.2	22.7	22.2	21.8	21.3	20.8	20.3	19.8	19.2	18.7	18.2
30°	23.9	23.4	22.9	22.4	22.0	21.5	21.0	20.4	19.9	19.4	18.9
31°	24.6	24.1	23.6	23.1	22.7	22.2	21.7	21.2	20.6	20.1	19.6
32°	25.3	24.8	24.3	23.9	23.4	22.9	22.4	21.9	21.4	20.8	20.3
33°	26.0	25.5	25.1	24.6	24.1	23.6	23.1	22.6	22.1	21.6	21.1
34°	26.7	26.3	25.8	25.3	24.9	24.4	23.9	23.4	22.8	22.3	21.8
35°	27.5	27.0	26.6	26.1	25.6	25.1	24.6	24.1	23.6	23.1	22.6
36°	28.3	27.8	27.4	26.9	26.4	25.9	25.4	24.9	24.4	23.9	23.4
37°	29.1	28.6	28.2	27.7	27.2	26.7	26.2	25.7	25.2	24.7	24.2
38°	29.9	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.1	26.6	26.0	25.5	25.0
39°	30.7	30.3	29.8	29.4	28.9	28.4	27.9	27.4	26.9	26.4	25.9
40°	31.6	31.2	30.7	30.2	29.8	29.3	28.8	28.3	27.8	27.3	26.7
41°	32.5	32.1	31.6	31.1	30.7	30.2	29.7	29.2	28.7	28.2	27.7
42°	33.4	33.0	32.5	32.1	31.6	31.1	30.6	30.1	29.6	29.1	28.6
43°	34.4	33.9	33.5	33.0	32.5	32.1	31.6	31.1	30.6	30.1	29.5
44°	35.4	34.9	34.5	34.0	33.5	33.1	32.6	32.1	31.6	31.1	30.5
45°	—	35.9	35.5	35.0	34.6	34.1	33.6	33.1	32.6	32.1	31.6
46°	—	—	—	—	35.6	35.1	34.7	34.2	33.7	33.2	32 6
47°	—	—	—	—	—	—	35.8	35.3	34.8	34.3	33.7
48°	—	—	—	—	—	—	—	—	35.9	35.4	34.9
49°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

α	β									
	—2°	—1°	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
26°	15.7	15.1	14.6	14.1	13.5	13.0	12.4	11.9	11.3	10.8
27°	16.3	15.8	15.3	14.7	14.2	13.7	13.1	12.5	12.0	11.4
28°	17.0	16.5	15.9	15.4	14.8	14.3	13.8	13.2	12.6	12.1
29°	17.7	17.1	16.6	16.1	15.5	15.0	14.4	13.9	13.3	12.7
30°	18.4	17.8	17.3	16.8	16.2	15.7	15.1	14.6	14.0	13.4
31°	19.1	18.5	18.0	17.5	16.9	16.4	15.8	15.3	14.7	14.1
32°	19.8	19.3	18.7	18.2	17.6	17.1	16.5	16.0	15.4	14.8
33°	20.5	20.0	19.5	18.9	18.4	17.8	17.3	16.7	16.1	15.6
34°	21.3	20.7	20.2	19.7	19.1	18.6	18.0	17.4	16.9	16.3
35°	22.0	21.5	21.0	20.4	19.9	19.3	18.8	18.2	17.6	17.1
36°	22.9	22.3	21.8	21.2	20.7	20.1	19.6	19.0	18.4	17.8
37°	23.6	23.1	22.6	22.0	21.5	20.9	20.4	19.8	19.2	18.6
38°	24.5	23.9	23.4	22.9	22.3	21.7	21.2	20.6	20.0	19.5
39°	25.3	24.8	24.3	23.7	23.2	22.6	22.0	21.5	20.9	20.3
40°	26.2	25.7	25.1	24.6	24.0	23.5	22.9	22.3	21.7	21.2
41°	27.1	26.6	26.0	25.5	24.9	24.4	23.8	23.2	22.6	22.1
42°	28.1	27.5	27.0	26.4	25.9	25.3	24.7	24.1	23.6	23.0
43°	29.0	28.5	27.9	27.4	26.8	26.3	25.7	25.1	24.5	23.9
44°	30.0	29.5	28.9	28.4	27.8	27.2	26.7	26.1	25.5	24.9
45°	31.0	30.5	30.0	29.4	28.8	28.3	27.7	27.1	26.5	25.9
46°	32.1	31.6	31.0	30.5	29.9	29.3	28.8	28.2	27.6	27.0
47°	33.2	32.7	32.1	31.6	31.0	30.4	29.9	29.3	28.7	28.1
48°	34.4	33.8	33.3	32.7	32.1	31.6	31.0	30.4	29.8	29.2
49°	35.6	35.0	34.5	33.9	33.3	32.8	32.2	31.6	31.0	30.4
50°	—	—	35.7	35.1	34.6	34.0	33.4	32.8	32.2	31.6

TABLEAU 4 : Détermination des hauteurs d'arbres en fonction de deux mesures d'angle : résolution numérique

2. Traçons la droite AB joignant les points $\alpha = 42°20'$ et $\beta = -10°00'$, situés sur les axes I et II : elle coupe l'axe III (des abscisses) au point C ;
3. Cherchons sur l'axe IV (des ordonnées) le point D correspondant à C, par l'intermédiaire de la courbe logarithmique ;
4. Par le point D et le point correspondant à la valeur de β sur l'axe V, traçons une nouvelle droite : elle coupe l'axe VI au point E, pour lequel il suffit de lire la hauteur, exprimée en mètres. Dans le cas choisi, H = 32.4 mètres.

3. Résolution numérique et tabulation

La formule établie ci-dessus a été résolue numériquement pour les valeurs entières de α et de β (Tableau 4). Les déterminations d'angles au niveau d'Abney étant effectuées de 10 en 10 minutes, les hauteurs sont calculées par interpolation.

c. VALEUR DES ESTIMATIONS DES HAUTEURS

Les principales *causes d'erreur* intervenant dans l'estimation des hauteurs d'arbres sont :

1° la localisation erronée du sommet de l'arbre (extrémité de la branche la plus haute) ;

2° la localisation erronée du pied de l'arbre, surtout sur les versants accentués (niveau du sol du côté amont) ;

3° la mauvaise conformation de l'arbre mesuré : cime asymétrique, arbre tordu et, d'une manière générale, arbre dont le sommet n'est pas situé au-dessus du pied ;

4° les défauts des instruments de mesure d'angle et de longueur ;

5° les imperfections de la méthode de calcul.

Sans chercher à discerner l'importance de ces sources d'erreur, nous avons vérifié l'exactitude de la méthode de mesure et nous en avons estimé la précision.

1. Exactitude

Une place d'essai a été établie dans la Forêt de Saint-Hubert. Les hauteurs totales de dix arbres, comprises entre 25 et 29 mètres, ont été mesurées avant et après l'abattage.

La mesure des arbres sur pied donne, en moyenne, des estimations supérieures à celles obtenues par la mesure des arbres abattus. Néanmoins, la différence moyenne observée (30 centimètres, soit 1.1 %) n'est pas significative au seuil 5 %.

Cette conclusion résulte de l'application du test-t de Student par paires et d'un test non-paramétrique correspondant.

Test-t de Student

La différence moyenne est égale à 0.30 mètre ; son écart-type est égal à 0.354.

On a $t = \frac{d}{\sigma_d} = \frac{0.30}{0.354} = 0.85$. Au seuil 5 %, avec 9 degrés de liberté, $t_o = 2.262$; le seuil de signification n'est donc pas atteint.

Test non-paramétrique

Sept différences sur dix sont positives, trois sont négatives. Si les deux méthodes de mesure donnaient en moyenne des résultats identiques, la probabilité d'avoir un nombre de différences négatives inférieur ou égal à trois serait, selon la loi binomiale :

$$P(0, 1, 2 \text{ ou } 3) = P(0) + P(1) + P(2) + P(3)$$
$$= \frac{C^0_{10} + C^1_{10} + C^2_{10} + C^3_{10}}{2^{10}} = \frac{1 + 10 + 45 + 120}{1024}$$
$$= 0.172.$$

Pour que la différence entre les deux méthodes de mesure soit significative, au seuil de 5 %, cette probabilité devrait être inférieure à 0.025.

2. Précision

Une première estimation de la précision est calculée à partir des résultats obtenus dans deux places d'essai situées l'une dans la Forêt de Saint-Hubert à Arville (Station 54), l'autre dans la Forêt de Luchy à Jehonville (Station 77).

Dans chacune d'elles, dix arbres ont été mesurés quatre fois, les visées se faisant suivant quatre directions perpendiculaires.

Soient x_{jk} la k^{me} mesure du j^{me} arbre, $x_{j.}$ la hauteur du j^{me} arbre (moyenne des quatre mesures de hauteur) et $x_{..}$ la hauteur moyenne générale. On a :

$$\sum_{jk} (x_{jk} - x_{..})^2 = 4 \sum_{j} (x_{j.} - x_{..})^2 + \sum_{jk} (x_{jk} - x_{j.})^2$$

et aussi $$\frac{\sum_{jk} (x_{jk} - x_{..})^2}{39} = \text{variance totale} = \sigma_t^2,$$

$$\frac{4 \sum_{j} (x_{j.} - x_{..})^2}{9} = \text{variance due aux différences de hauteur}$$

existant entre les arbres $= \sigma_a^2$,

et $$\frac{\sum_{jk} (x_{jk} - x_{j.})^2}{30} = \text{variance entre les résultats de mesure}$$

$= \sigma_r^2$.

A Arville, pour des valeurs de $x_{j.}$ allant de 30.0 à 32.1 mètres, et pour $x_{..}$ = 30.9 mètres, on a :

$$\sigma_t^2 = 1.33, \quad \sigma_a^2 = 2.15, \quad \sigma_r^2 = 1.09.$$

A Luchy, les valeurs correspondantes sont :

$$x_{j.} = 22.7 \text{ à } 28.5 \text{ m}, \quad x_{..} = 26.2 \text{ m},$$

$$\sigma_t^2 = 3.82, \quad \sigma_a^2 = 10.86 \ (*), \quad \sigma_r^2 = 1.71.$$

Pour l'ensemble des deux stations, la variance moyenne entre mesures est $\sigma_r^2 = \dfrac{1.09 + 1.71}{2} = 1.40$; l'écart-type σ_r est égal à 1.18. La hauteur moyenne générale est $\dfrac{30.9 + 26.2}{2} = 28.5$ mètres.

Si on suppose que les erreurs sont distribuées selon la loi normale, l'erreur moyenne due à la méthode de mesure est : $e_r = 0.645\ \sigma_r = 0.76$ mètre. D'autre part, au seuil 5 %, l'estimation de la hauteur est donnée à 1.96 σ_r près, soit à 2.32 mètres près.

Ces différentes valeurs considèrent l'erreur commise sur une seule mesure. Pour calculer l'erreur d'estimation d'une moyenne (r.) de n résultats, on dispose de la relation

$$\sigma_{r.}^2 = \frac{\sigma_r^2}{n}, \text{ ou aussi } \sigma_{r.} = \frac{\sigma_r}{\sqrt{n}} \ (**).$$

Le tableau 5 groupe les valeurs de $e_{r.}$, $\sigma_{r.}$ et 1.96 $\sigma_{r.}$ pour différentes valeurs de n, les résultats étant exprimés en valeur absolue (mètres) et en valeur relative (en % de la moyenne générale). Il y apparaît par exemple que la moyenne de deux mesures (hauteur d'un arbre mesuré deux fois, ou hauteur moyenne de deux arbres mesurés chacun une fois) est exprimée à 1.64 mètre près (ou 5.8 %), soit avec une erreur moyenne de 0.54 mètre (ou 1.9 %).

(*) Tous les arbres considérés ne constituent pas, comme à Arville, un étage dominant quasi-unique. (Cf. p. 385).

(**) La variance d'une somme de variables indépendantes est égale à la somme des variances des différents termes :

$$\sigma^2_{(r_1 + r_2 + \ldots + r_n)} = \sigma_{r_1}^2 + \sigma_{r_2}^2 + \ldots + \sigma_{r_n}^2 = n\,\sigma_r^2, \text{ si } \sigma_{r_1}^2 = \sigma_{r_2}^2 = \ldots = \sigma_{r_n}^2.$$

Et, lorsqu'on divise une variable par une constante, la variance est divisée par le carré de cette constante :

$$\sigma_{r.}^2 = \sigma^2\left(\frac{r_1 + r_2 + \ldots + r_n}{n}\right) = \frac{n\,\sigma_r^2}{n^2} = \frac{\sigma_r^2}{n}$$

n	$e_{r.}$	$\sigma_{r.}$	1.96 $\sigma_{r.}$	$\frac{100\ e_{r.}}{r.}$	$\frac{100\ \sigma_{r.}}{r.}$	$\frac{196\ \sigma_{r.}}{r.}$
1	0.76	1.18	2.32	2.7	4.1	8.1
2	0.54	0.84	1.64	1.9	2.9	5.8
5	0.34	0.53	1.04	1.2	1.9	3.7
10	0.24	0.37	0.73	0.8	1.3	2.6
20	0.17	0.26	0.52	0.6	0.9	1.8

TABLEAU 5 : Estimation de l'erreur moyenne ($e_{r.}$), de l'écart-type ($\sigma_{r.}$) et de l'erreur maximum admise au seuil 5 % (1.96 $\sigma_{r.}$), d'une estimation (r.) basées sur n mesures : valeurs absolues en mètres, et valeurs relatives, en % de (r.).

II. — Choix des arbres à mesurer

a. RECHERCHE DES ARBRES DOMINANTS

Deux parcelles homogènes de 20 ares ont été délimitées, l'une dans une hêtraie à fétuque, à Arville (Station 54), l'autre dans une hêtraie à luzule du type sec, à Warinsart (Station 70). Tous les arbres de ces parcelles ont été mesurés en hauteur et en circonférence, et, par observation directe sur le terrain, chacun d'eux a été rangé dans un étage donné : étage dominant, codominant, intermédiaire ou dominé.

Deux *conclusions* découlent de la confrontation des résultats obtenus :

1 Les peuplements considérés sont constitués essentiellement d'une strate de dominants et codominants (Tableau 6) ;

Strates et essences	Arville (n° 54)			Warinsart (n° 70)		
	Nombres de bois	Hauteurs extrêmes	Circonfér. extrêmes	Nombres de bois	Hauteurs extrêmes	Circonfér. extrêmes
Dominants	27	26.6-33.1	104-214	13	23.2-28.7	117-195
Codominants	6	23.2-31.5	111-208	10	20.5-25.6	87-153
Intermédiaires . . .	—	—	—	5	17.7-22.4	60-110
Dominés	—	—	—	8	—	23-82
Total (hêtres) . . .	33	—	—	36	—	—
Erables	2	26.8-28.6	115-133	—	—	—
Chênes	1	26.4	194	3	23.7-24.6	128-222
Total général	36	—	—	39	—	—

TABLEAU 6 : Relation entre les dimensions des arbres et leur position dans le peuplement, pour deux stations de 20 ares.

2° Il ne semble pas y avoir de relation étroite entre les hauteurs mesurées et les estimations relatives à la position des arbres dans le peuplement : la division de l'étage supérieur en une strate dominante et une strate codominante est sujette à caution, et même la distinction entre strates inférieures et supérieures est délicate.

b. ESTIMATION DE LA HAUTEUR MOYENNE DES PLUS GROS ARBRES

1° L'estimation de la hauteur moyenne des dominants et codominants nécessiterait un dénombrement exact et complet de ces arbres et le prélèvement parmi eux d'un échantillon représentatif. En considérant les difficultés à prévoir dans un tel travail, nous avons abandonné cette méthode et nous avons utilisé comme critère de station la *hauteur moyenne d'un certain nombre des plus gros bois.*

2° La précision obtenue en effectuant *dix mensurations* par station paraît largement suffisante : l'erreur moyenne due à la méthode de mesure serait égale à 0.24 mètre et l'erreur maximum (au seuil 5 %) égale à 0.73 mètre, soit respectivement 0.8 et 2.6 % (Tableau 5). Afin de rechercher une estimation précise des erreurs de mesure, les mensurations porteront sur cinq arbres, dont la hauteur sera donc mesurée deux fois : il sera dès lors possible de calculer la variance due aux différences entre arbres et la variance due aux erreurs de mesure (*).

3° Les cinq arbres mesurés dans chaque place d'essai constituent un bouquet s'étendant sur une surface généralement comprise entre 5 et 7 ares. Si l'on suppose, en première approximation, que la densité moyenne des hêtraies étudiées est de 180 bois par hectare (Cf. tableaux 6 et 12), les mensurations porteront ainsi sur une fraction du peuplement qui correspondrait en moyenne aux *40 à 50 % plus gros bois d'une futaie équienne.*

4° Autant que possible, les arbres de mauvaise conformation, trop difficiles à mesurer avec précision, ne seront pas considérés.

c. PREMIERS RESULTATS OBTENUS ET DISCUSSION DE LA METHODE PROPOSEE

1. Différence entre les résultats obtenus par la méthode proposée et la hauteur moyenne des dominants et des codominants

Le tableau 7 donne, pour les deux parcelles de 20 ares (Stations 54 et 70), la hauteur moyenne des arbres considérés comme dominants et/ou codominants, ainsi que la hauteur moyenne des 10, 13, 16 et 20 plus

(*) L'écart-type d'une moyenne (r.) de 10 mesures (r) est $\sigma_{r.} = \frac{\sigma_r}{\sqrt{10}}$, que les 10 mesures soient effectuées sur 10 ou seulement sur 5 arbres différents.

gros bois, ce qui correspond aux 5 plus gros bois situés respectivement sur une étendue de 10, 8, 6 et 5 ares.

Il semble que la méthode proposée donne des résultats légèrement supérieurs à la hauteur moyenne des dominants et codominants.

Arbres considérés	Arville (n° 54)			Warinsart (n° 70)		
	Nb. bois	Haut. moy.	Circonf. extrêmes	Nb. bois	Haut. moy.	Circonf. extrêmes
Dominants	27	30.6	104-214	13	25.7	117-195
Codominants . . .	6	28.8	111-208	10	22.6	64-153
Domin. + Codomin.	33	30.3	104-214	23	24.4	64-195
10 plus gros bois . .	10	31.5	176-214	10	25.8	136-195
13 plus gros bois . .	13	31.3	166-214	13	25.6	130-195
16 plus gros bois . .	16	31.2	157-214	16	25.0	115-195
20 plus gros bois . .	20	30.9	143-214	20	24.5	98-195

TABLEAU 7 : Hauteur moyenne et circonférences extrêmes des arbres dominants et/ou codominants, et d'un certain nombre des plus gros bois, dans deux parcelles de 20 ares

2. Influence de l'éclaircie

La hauteur moyenne d'un nombre suffisant des plus gros bois est peu modifiée par l'éclaircie, même intense. Ceci apparaît nettement dans la parcelle 54 (Arville) où 7 tiges sur 36 sont délivrées à l'occasion de la coupe ordinaire 1955 (Tableau 8). Dans la parcelle 70, une éclaircie faible délivrant 2 bois sur 39 supprime tout l'intérêt d'une comparaison analogue.

Arbres considérés	Hauteurs moyennes		Circonférences minima	
	Avant éclaircie	Après éclaircie	Avant éclaircie	Après éclaircie
10 plus gros bois . .	31.5	31.8	176	168
13 plus gros bois . .	31.3	31.4	166	164
16 plus gros bois . .	31.2	31.1	157	144
20 plus gros bois . .	30.9	31.0	143	129

TABLEAU 8 : Hauteur moyenne des 10, 13, 16 ou 20 plus gros bois et circonférence du plus mince d'entre eux, avant et après l'éclaircie, dans une parcelle de 20 ares

3. Variation entre arbres

Si dans les diverses stations les différences de hauteur entre arbres voisins sont significatives par rapport aux erreurs de mesure, c'est à cette

variation entre arbres qu'il faut comparer la variation entre stations, pour préciser le niveau de signification de cette dernière. D'une manière plus explicite, cette méthode de travail revient à examiner si les différences de hauteur entre arbres de stations différentes (variation entre stations) sont plus élevées que les différences de hauteur entre arbres d'une même station (variation entre arbres), une fois établie l'insignifiance des erreurs de mesure.

Il est donc intéressant de disposer d'une *première estimation de la variance entre arbres* (Tableau 9) (*). On constate que l'éclaircie et le nombre de bois considérés, parmi les plus gros, ne modifient pas fortement la variance entre arbres, mais que celle-ci peut subir des variations importantes d'une station à l'autre (**).

Arbres considérés	Variances		
	Parcelle 54		Parcelle 70
	Avant éclaircie	Après éclaircie	
10 plus gros bois	1.89	1.29	3.95
13 plus gros bois	2.07	1.53	3.56
16 plus gros bois	1.64	1.93	4.67
20 plus gros bois	1.83	2.31	5.47

TABLEAU 9 : Variance entre les 10, 13, 16 et 20 plus gros bois d'une parcelle de 20 ares, pour la station 54 (Arville, avant et après l'éclaircie) et pour la station 70 (Warinsart)

III. — Présentation des résultats dendrométriques

Les résultats dendrométriques obtenus dans les quatre-vingts places d'essai ont été transformés en un certain nombre de valeurs caractéristiques *(paramètres)* qui sont groupées dans les dernières colonnes de l'annexe.

a. MESURES DE HAUTEUR

1. Notations

Soient $x_{i11}, x_{i21}, \ldots, x_{ij1}, \ldots, x_{i51}$

$x_{i12}, x_{i22}, \ldots, x_{ij2}, \ldots, x_{i52}$ les résultats des 10 mesures de hauteur effectuées dans la i^{me} station. D'une manière générale, chaque

(*) La variance entre arbres a été définie page 383.

(**) Dans la parcelle de Warinsart, l'inclusion de certains bois de dimensions moyennes parmi les 16 ou 20 plus gros (Cf. tableau 7 : circonférences extrêmes) augmente néanmoins la variance entre arbres.

mesure est représentée par le symbole x_{ijk} ($i = 1, 2, \ldots, 80$; $j = 1, 2, \ldots, 5$: $k = 1, 2$). On a :

n_1 = nombre de stations = 80 ;
n_2 = nombre d'arbres par station = 5 ;
n_3 = nombre de mesures par arbre = 2.

Soient $x_{i1.}, \ldots, x_{ij.}, \ldots, x_{i5.}$ les hauteurs estimées des cinq arbres de la i^{me} station, et $x_{i..}$ la hauteur moyenne de ces cinq arbres. On a :

$$x_{i1.} = \frac{x_{i11} + x_{i12}}{2}, \ldots, x_{ij.} = \frac{x_{ij1} + x_{ij2}}{2} = \frac{\sum_k x_{ijk}}{n_3},$$

$$\ldots, x_{i5.} = \frac{x_{i51} + x_{i52}}{2}$$

$$\text{et} \quad x_{i..} = \frac{x_{i1.} + \ldots + x_{i5.}}{5} = \frac{\sum_j x_{ij.}}{n_2} = \frac{\sum_j \sum_k x_{ijk}}{n_2 n_3}$$

De plus, $x_{...}$ est la moyenne générale des hauteurs des 80 stations :

$$x_{...} = \frac{x_{1..} + \ldots + x_{80..}}{80} = \frac{\sum_i x_{i..}}{n_1} = \frac{\sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk}}{n_1 n_2 n_3}$$

2. Résultats

La *colonne 18* donne les estimations ($x_{i..}$) de la hauteur moyenne des 40 à 50 % plus gros bois, dans les 80 places d'essai.

Les *colonnes 19 et 20* présentent deux valeurs caractérisant l'importance des variations de hauteur entre les différents arbres mesurés dans chaque station.

Colonne 19 : amplitude des hauteurs (α_i), égale dans chaque station à la différence entre la valeur $x_{ij.}$ la plus élevée et la valeur $x_{ij.}$ la plus faible.

Colonne 20 : estimation de la variance intrastation (variance entre arbres), définie par la formule suivante :

$$\sigma_i^2 = \frac{(x_{i1.} - x_{i..})^2 + \ldots + (x_{i5.} - x_{i..})^2}{4} = \frac{\sum_j (x_{ij.} - x_{i..})^2}{n_2 - 1}$$

Quelques *résultats complémentaires* non repris en annexe seront également utilisés, notamment la distribution des erreurs de mesure et la répartition des hauteurs par rapport à la moyenne de la station (Troisième partie).

b. MESURES DE CIRCONFERENCE

Afin de disposer de renseignements relatifs à la grosseur des arbres étudiés, leur circonférence a été mesurée à hauteur de poitrine (1.50 m), de centimètre en centimètre. La *colonne 21* de l'annexe donne la

moyenne arithmétique des cinq circonférences mesurées dans chacune des stations.

c. MESURES D'AGE

Dans les stations où cette estimation est possible, l'âge du peuplement est déterminé par comptage des cernes sur les souches d'arbres récemment abattus et de grosseur sensiblement égale à celle des arbres servant à la détermination du critère de station.

A proximité du cœur, la lecture à l'œil nu ou à la loupe devient de plus en plus difficile ; le comptage est alors interrompu et le diamètre correspondant à la zone non étudiée est mesuré. Un *facteur correctif*, égal à l'âge nécessaire pour atteindre cette dimension, peut être calculé à l'aide des tables de productivité.

1° D'après WIEDEMANN (1949), le diamètre moyen du peuplement serait, à 30 ans, égal à 5.9 centimètres en deuxième classe de productivité et à 4.6 centimètres en troisième classe. Cet auteur ne donne pas les caractéristiques de grosseur des classes IV et V, mais, d'après les tables de GEHRHARDT (1930a et 1930b), on peut supposer que le diamètre est égal à 3.4 et 2.3 centimètres, respectivement dans les classes IV et V de WIEDEMANN, à 30 ans.

2° A ces valeurs, nous avons ajouté uniformément un centimètre, qui correspondrait approximativement au défilement enregistré entre le sol et la hauteur de mesure du diamètre (1.30 mètre dans les pays d'Europe centrale).

3° D'autre part, nous avons supposé que la croissance en grosseur était linéaire dans les trente premières années, ce qui nous permet de déterminer par simple proportion le diamètre atteint à n'importe quel âge dans les différentes classes de productivité. Le tableau 10 indique la croissance en grosseur, ainsi calculée de 5 en 5 ans.

Classes de productivité	II	III	IV	V
Diamètre à 1,30 m, à 30 ans	5.9	4.6	3.4	2.3
Diamètre au sol à 30 ans	6.9	5.6	4.4	3.3
Diamètre au sol à 25 ans	5.75	4.67	3.67	2.75
Diamètre au sol à 20 ans	4.60	3.73	2.93	2.20
Diamètre au sol à 15 ans	3.45	2.80	2.20	1.65
Diamètre au sol à 10 ans	2.30	1.87	1.47	1.10
Diamètre au sol à 5 ans	1.15	0.93	0.73	0.55
Haut. moyenne du peupl. à 160 ans .	35.1	29.9	24.9	20.1
Critère de station à 160 ans	36.1	30.9	25.9	21.1

TABLEAU 10 : Calcul d'un facteur correctif intervenant dans la détermination de l'âge (*)

(*) Dans ce tableau, ainsi que dans tous les raisonnements ultérieurs, il n'est pas tenu compte de la classe I, à laquelle aucun peuplement d'Ardenne n'appartient.

4° En se basant sur les résultats qui seront obtenus pages 404 et 406, on peut calculer d'après les tables de WIEDEMANN la valeur du critère de station à 160 ans (Tableau 10).

5° Pour les quatre classes envisagées, on représente alors graphiquement le diamètre atteint en fonction de l'âge et du critère de station (fig. 16). Il apparaît que les points correspondant à un même âge peuvent être joints par une droite, à travers les différentes classes de productivité. Chaque droite du faisceau ainsi obtenu représente donc le diamètre atteint à un âge donné.

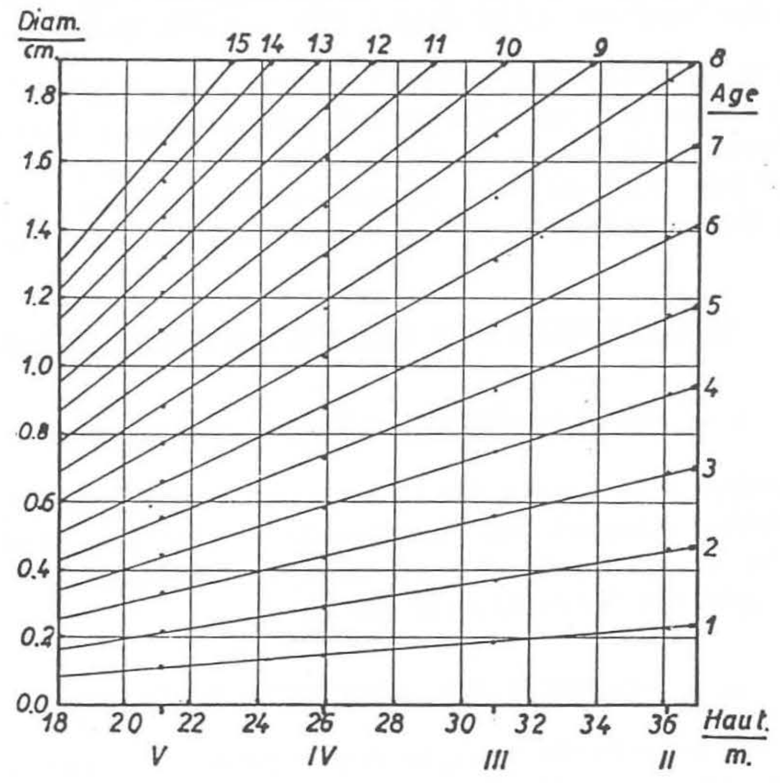


Figure 16. — Diamètre des jeunes bois au niveau du sol en fonction de leur âge et de la qualité de la station

6° Inversément, ce graphique permet de trouver le *nombre d'années nécessaires pour atteindre une dimension donnée* (en ordonnées) *dans une station de productivité donnée* (en abscisses). Cette valeur est le terme correctif cherché, qui est ajouté au nombre de cernes comptés sur la souche.

La *colonne 22* de l'annexe donne, comme estimation de l'âge moyen du peuplement dans 56 stations sur 80, la moyenne des résultats ainsi corrigés, obtenus par comptage des cernes sur deux souches différentes.

Remarques

1° Le calcul du terme correctif suppose connu pour chacune des places d'essai le critère de station à l'âge de 160 ans. Toutefois, nous avons utilisé dans chaque cas la hauteur moyenne des 40 à 50 % plus gros

bois indépendamment de l'âge. L'erreur introduite par cette approximation ainsi que par l'utilisation de diverses hypothèses (linéarité de la croissance en diamètre, valeur du défilement uniformément égale à 1 centimètre, etc.) peut être importante relativement à la valeur du terme correctif, mais reste de toute façon faible par rapport à l'âge total des peuplements.

En effet, pour les 56 peuplements dont l'âge a été estimé, la valeur moyenne du terme correctif est égale à 6.5 ans. Une erreur de 50 % de cette valeur, importante relativement au terme correctif lui-même, ne constitue qu'une erreur de 2 % de l'âge estimé, l'âge moyen des 56 stations étant en réalité égal à 165 ans (Cf. troisième partie).

2° D'autre part, nous avons vérifié le fait que la grosseur des bois dont l'âge est estimé correspond bien à la grosseur des arbres servant à la détermination du critère de station. Dans l'ensemble des 56 stations, ces derniers auraient une circonférence moyenne supérieure de 5 centimètres seulement à la circonférence moyenne des premiers.

C. — UTILISATION DES TABLES DE PRODUCTIVITE

I. — Productivité des hêtraies d'Ardenne

Les forestiers belges n'ont jamais consacré à la productivité de leurs forêts des études d'importance comparable à celle de certains travaux étrangers : en ce qui concerne les hêtraies d'Ardenne, les quelques résultats suivants ont seulement été publiés.

a. — HAUTEUR MOYENNE DES DOMINANTS

En considérant la hauteur moyenne des dominants, il semble possible d'établir une relation entre les types phytosociologiques de hêtraies et les classes de productivité établies par SCHWAPPACH ou WIEDEMANN (BOUDRU 1953-1954 — NOIRFALISE 1948-1949 — SCHWAPPACH 1912 WIEDEMANN 1949) :

Classes de productivité	Hauteur moyenne des dominants	Hêtraies à
I	+ de 35 m	—
II	30 à 35 m	fétuque
III	25 à 30 m	luzule
IV	20 à 25 m	myrtille
V	— de 20 m	—

En première approximation, les « bonnes hêtraies » seraient assimilées à la troisième classe de productivité : l'accroissement annuel

moyen en volume bois fort serait, à 100 ans, égal à 6 mètres cubes par hectare, dont 4 mètres cubes de bois d'œuvre. Les hêtraies à myrtille correspondraient à la quatrième classe, tandis que la deuxième ne serait représentée que par quelques très bonnes stations.

b. — QUELQUES ESTIMATIONS LOCALES DE LA PRODUCTION

1° Hêtraies de la *planchette topographique de Saint-Hubert* (n° 59/8) : production moyenne en bois d'œuvre : 2.5 à 3 mètres cubes par hectare et par an (AVRIL 1953).

2° Hêtraies de la *planchette topographique de Champlon* (n° 60/1) : production moyenne : 3 à 3.5 mètres cubes par hectare et par an (DECKERS 1953).

3° *Futaie jardinée de Hautfays*, aménagée par la méthode du contrôle, composée de 70 % de hêtres et 30 % de chênes (en nombre d'arbres). Accroissement annuel moyen des parcelles normales : 6.1 mètres cubes par hectare, y compris le passage à la futaie (COLETTE 1952).

4° *Hêtraie de Rollé* (Jehonville), issue de semis (en 1886). Accroissement annuel moyen *à 65 ans :* 5.26 mètres cubes par hectare, soit une deuxième classe de productivité d'après les tables de WIEDEMANN (ROISIN 1952).

c. — PRODUCTIVITE STATIONNELLE DES TYPES PHYTOSOCIOLOGIQUES

1° La *relation établie par* GALOUX (1954) et étudiée au cours de la première partie (page 262) a permis d'estimer l'accroissement des trois types principaux de hêtraies, en supposant que les dominants y atteignent respectivement à 150 ans une hauteur moyenne de 35, 30 et 25 mètres (Tableau 11).

D'après le même auteur (GALOUX 1952), la production annuelle moyenne en bois de fût serait comprise entre 1.5 et 4.5 mètres cubes par hectare et par an, à un âge de 150 à 180 ans.

Hêtraies à	fétuque	luzule	myrtille
Age	150	150	150
Hauteur totale moyenne des dominants (m)	35	30	25
Production totale en bois fort à 150 ans (m³/ha)	1115	810	540
Accroissement annuel moyen en bois fort à 150 ans (m³/ha an)	7.4	5.4	3.6

TABLEAU 11 : Productivité stationnelle théorique des types phytosociologiques de hêtraies en Haute-Ardenne (d'après Galoux, 1954)

2° L'étude d'ensemble consacrée récemment par la Station de Recherches de Groenendael aux résultats obtenus dans plusieurs *parcelles d'essai établies en Haute-Ardenne* donne les caractéristiques de peuplements âgés de plus de 150 ans (Tableau 12).

Hêtraies à	fétuque	luzule	myrtille
Hauteur totale des dominants et codominants (m) — Extr. / Moy.	32-37 35	28-31 30	23-26 25
Nombre de bois par hectare — 1910 / 1950	200 140	200 130	260 200
Diamètre moyen en 1910 (cm) Accroissement périodique en diamètre (en 40 ans)	40-50 9	40-50 7.5	20-30 6
Surface terrière du peuplement principal (m²/ha) — 1910 / 1950 Accroissement périodique en surface terrière (peuplement total) . . .	27.5 28.5 10.5	26 22 8.5	25 25 —
Volume du peuplement principal (m³/ha) — 1910 / 1950 Volume exploité de 1910 à 1950 (m³/ha) Accroissement périodique du peuplement total (m³/ha) . . . . Accroissement périodique moyen du peuplement total (m³/ha an) . . .	340 450 140 250 6.2	300 300 175 175 4.4	260 260 125 125 3.1
Classes de productivité (Wiedemann)	II-III	III	IV

TABLEAU 12 : Caractéristiques moyennes de quelques stations de hêtraies en Haute-Ardenne (d'après Reginster, 1955)

d. — CONCLUSIONS

La production des meilleures hêtraies d'Ardenne (hêtraies à fétuque et bonnes hêtraies à luzule) n'est pas particulièrement élevée, mais la proportion de bois d'œuvre de belles dimensions y reste relativement forte. Par contre, la production des hêtraies usées, déjà faible au total, devient exceptionnellement basse, voire nulle, lorsque l'on considère le bois d'œuvre.

A Luchy (Jehonville) par exemple, le cœur rouge atteint la grande majorité et même par endroits la totalité des hêtres de 1.50 mètre de circonférence ; au total, la catégorie *chauffage* se voit attribuer près des

2/3 de la production (PRIGNON 1954). La situation est plus grave encore dans certaines coupes du massif de Warinsart, où les bois exploités sont livrés intégralement aux affouagers.

II. — Tables de productivité étrangères applicables aux hêtraies d'Ardenne

En l'absence de données plus complètes propres aux hêtraies ardennaises, nous devrons nécessairement utiliser des tables de productivité étrangères: les considérations suivantes justifient le choix des tables «A» (Starke Durchforstung) de WIEDEMANN (1932) :

1° Il semble bien établi que les hêtraies du domaine médioeuropéen peuvent être groupées au point de vue des conditions de développement en un seul *domaine de croissance* (FLURY 1907 — WIEDEMANN 1950-1951) (*).

Dans une étude consacrée à ce problème, MITCHERLICH (1950) a divisé le domaine médioeuropéen en 23 secteurs s'étendant de la Suisse à la Suède : il constate que la croissance du hêtre y est remarquablement homogène, et que quelques faibles écarts seulement apparaissent dans certains secteurs relativement aux données de WIEDEMANN (1932). La partie supérieure du Harz, qui constitue une région tout à fait comparable à l'Ardenne, tant au point de vue climatique qu'au point de vue édaphique, se trouve parmi les secteurs dans lesquels la croissance du hêtre se rapproche le plus de ces normes.

2° Parmi les *principales tables de productivité consacrées au hêtre*, certaines sont devenues caduques ou introuvables ; d'autres, celles de FLURY (1907) et d'OPPERMAN (1914) notamment, n'envisagent que des hêtraies de qualité supérieure ; celles de GEHRHARDT (1930a et 1930b) sont le résultat d'un travail de compilation et ont été établies en fonction des tables publiées antérieurement (ETTER 1949 — MITCHERLICH 1950). Seules les tables de SCHWAPPACH, dont la dernière édition remaniée date de 1912, et celles de WIEDEMANN ne sont sujettes à aucune de ces critiques. Celui-ci a en fait amélioré les tables de SCHWAPPACH, en en corrigeant quelques données : les hauteurs, les surfaces terrières, les coefficients de forme et les volumes du peuplement principal n'ont pas été modifiés ; mais, principalement dans les trois classes supérieures, les caractéristiques de densité, de grosseur, d'accroissement en surface terrière et de production totale en volume ont été corrigées (ASSMANN 1949 — WIEDEMANN 1932 et 1949).

(*) La notion de domaine de croissance a été définie dans la première partie (pp. 252 et 272).

Soulignons le fait que les classes définies par les différentes tables ne correspondent pas toujours au même niveau de productivité (ASSMANN 1949) ; on remarque notamment que les cinq classes de FLURY, établies pour les hêtraies suisses, sont englobées dans les trois classes supérieures (I, II et III) de WIEDEMANN (Tableau 13).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	29.8	33.5	29.6	34.5	29.4	32.0	32.5	32.0	32.85	32.0
II	26.6	31.6	27.0	29.7	26.2	28.5	30.0	27.8	28.80	27.8
III	23.0	29.7	24.0	24.9	23.1	25.0	27.5	23.5	24.95	23.5
IV	19.6	27.8	19.7	20.1	19.9	21.5	25.0	19.2	20.65	19.2
V	16.0	—	15.2	15.2	16.7	18.0	22.4	14.9	16.80	14.8

TABLEAU 13 : Correspondance entre les classes de productivité des différentes tables : hauteur moyenne à 100 ans (moyenne de Lorey, en général). 1 : Von Baur ; 2 : Meister ; 3 : Schwappach (1904) ; 4 : Wimmenauer ; 5 : Schuberg ; 6 : Grundner ; 7 : Flury ; 8 : Schwappach (1912) ; 9 : Gehrhardt (1930a et 1930b) ; 10 : Wiedemann (1932). De 1 à 7, d'après Flury (1907).

3° Des tables publiées par WIEDEMANN, celles relatives aux *peuplements fortement éclaircis* (Tafel « A » - starke Durchforstung) s'identifient le mieux aux caractéristiques des hêtraies d'Ardenne, telles qu'elles sont définies par REGINSTER (1955) : le tableau 14 établit la comparaison entre la hêtraie à luzule de REGINSTER et la troisième classe de productivité de WIEDEMANN (*).

	Hêtraie à luzule	Wiedemann : classe III	
		Eclaircie forte (A)	Eclaircie moy. (B)
Age	150 et +	140	140
Nombre de bois par ha	140	170	273
Diamètre moyen du peupl. princ. (cm)	50	41.8	37.9
Surf. terrière du peupl. princ. (m²/ha)	26	23.3	30.8
Volume du peupl. princ. (m³/ha) . .	300	337	443

TABLEAU 14 : Comparaison entre les caractéristiques des hêtraies d'Ardenne et les caractéristiques normales données par Wiedemann

(*) Certaines caractéristiques des hêtraies à luzule ont été légèrement harmonisées, en fonction des caractéristiques des hêtraies à fétuque et à myrtille (Tableau 12).

Age	Hauteur moyenne du peuplement principal				Volume bois fort du peuplement total				Accroissement annuel moyen du peuplement total en bois fort			
	II	III	IV	V	II	III	IV	V	II	III	IV	V
30	8.5	6.5	4.6	2.7	.	.	.	.	.	.	.	.
40	12.4	9.9	7.4	4.9	97	46	.	.	2.4	1.2	.	.
50	15.9	12.9	9.9	6.9	190	123	59	12	3.8	2.5	1.2	0.2
60	18.9	15.5	12.2	8.7	291	205	123	54	4.9	3.4	2.1	0.9
70	21.6	17.8	14.2	10.4	396	286	189	99	5.7	4.1	2.7	1.4
80	23.9	19.9	16.0	12.0	502	366	253	146	6.3	4.6	3.2	1.8
90	25.9	21.8	17.6	13.5	607	446	315	193	6.7	5.0	3.5	2.1
100	27.8	23.5	19.2	14.9	707	525	377	239	7.1	5.3	3.8	2.4
105	28.6	24.3	19.9	15.6	754	564	407	261	7.2	5.4	3.9	2.5
110	29.4	25.0	20.6	16.2	801	604	437	283	7.3	5.5	4.0	2.6
115	30.1	25.7	21.2	16.8	846	643	466	305	7.3	5.6	4.1	2.7
120	30.8	26.3	21.8	17.3	889	681	495	326	7.4	5.7	4.1	2.7
125	31.5	26.9	22.3	17.8	932	719	523	347	7.5	5.8	4.2	2.8
130	32.1	27.4	22.8	18.2	974	756	551	367	7.5	5.8	4.2	2.8
135	32.7	27.9	.	.	1015	793	.	.	7.5	5.9	.	.
140	33.3	28.4	.	.	1055	829	.	.	7.5	5.9	.	.

TABLEAU 15 : Croissance en hauteur et en volume des hêtraies fortement éclaircies, d'après les tables de productivité de Wiedemann

4° Extraites des *tables « A » de* WIEDEMANN, nous donnons au tableau 15 les valeurs qui nous serviront dans la suite de notre étude, à savoir :

— la hauteur moyenne du peuplement principal (moyenne de LOREY) ;

— le volume bois fort du peuplement total (peuplement principal + peuplement intermédiaire) ;

— l'accroissement annuel moyen du peuplement total.

III. — Relation entre le critère de station proposé et la hauteur moyenne du peuplement

Pour comparer nos résultats aux caractéristiques données par les tables de productivité, il faut trouver une relation entre le critère de station utilisé par WIEDEMANN (hauteur moyenne de LOREY) et celui que nous avons choisi.

D'autre part, les tables de WIEDEMANN ne s'étendant que jusqu'à 140 ans dans les trois classes supérieures et 130 ans dans les deux classes inférieures, il est nécessaire d'extrapoler quelque peu la courbe de croissance en hauteur.

a. RECHERCHE D'UN FACTEUR CORRECTIF COMPENSANT LA DIFFERENCE DE DEFINITION DU CRITERE DE STATION

En l'absence d'observations pratiques, la différence entre la hauteur moyenne arithmétique d'un certain pourcentage des plus gros bois et la hauteur moyenne du peuplement (formule de LOREY) peut être calculée théoriquement en fonction de la répartition des tiges en catégories de grosseur et de hauteur.

Envisageons par exemple le cas d'un *peuplement équienne dont la circonférence moyenne* (circonférence de la tige de surface terrière moyenne) *est de 100 centimètres.*

1° Nous supposerons que la répartition des bois dans les différentes catégories de grosseur correspond à la distribution dite des « déciles de Jedlinski ». Les neuf déciles sont les limites des catégories de grosseur comprenant chacune 10 % du nombre total des tiges. Ces valeurs sont données par PEARSON (cité par JEDLINSKI, 1932) en % de la grosseur moyenne (Tableau 16 et Figure 11).

La distribution de fréquence calculée à partir des déciles est une distribution en cloche, asymétrique, à sommet déporté vers la gauche (Cf. infra : figure 13). L'existence d'une répartition de ce type dans des peuplements équiennes est confirmée par de nombreux auteurs (BEHRE 1928 — BRUCE et SCHUMACHER 1950 — CHAPMAN et MEYER 1949 — F.A. 14-257).

N° des déciles	—	1	2	3	4	5
Bois inférieurs aux déciles (%)	1	10	20	30	40	50
Déciles (cm) . . .	56.3	70.7	78.3	84.3	90.0	95.8
Bois supérieurs aux déciles (%)	99	90	80	70	60	50
N° des déciles	—	6	7	8	9	—
Bois inférieurs aux déciles (%)	56.88	60	70	80	90	100
Déciles (cm) . . .	100.0	101.9	108.3	115.5	125.8	165.7
Bois supérieurs aux déciles (%)	43.12	40	30	20	10	0

TABLEAU 16 : Valeur des déciles et de quelques points remarquables de la distribution des fréquences cumulées ; % de bois de dimensions inférieures ou supérieures aux déciles et à ces valeurs remarquables

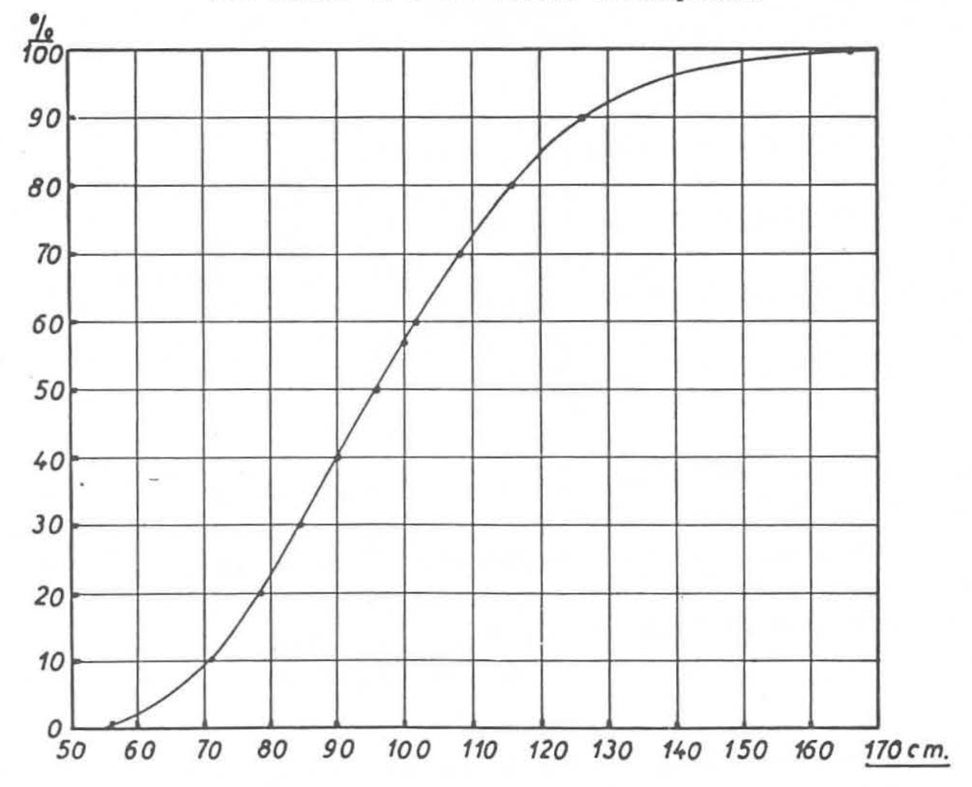


Figure 11. — Répartition des tiges en catégories de circonférence ; fréquences cumulées : pourcentage de bois inférieurs à une dimension donnée. (D'après Jedlinski, pour une circonférence moyenne de 100 cm)

2° En utilisant les deux dernières lignes du tableau 16, il est possible de dessiner la courbe des fréquences cumulées à partir des plus gros bois (Fig. 12). En considérant des catégories de circonférence de points

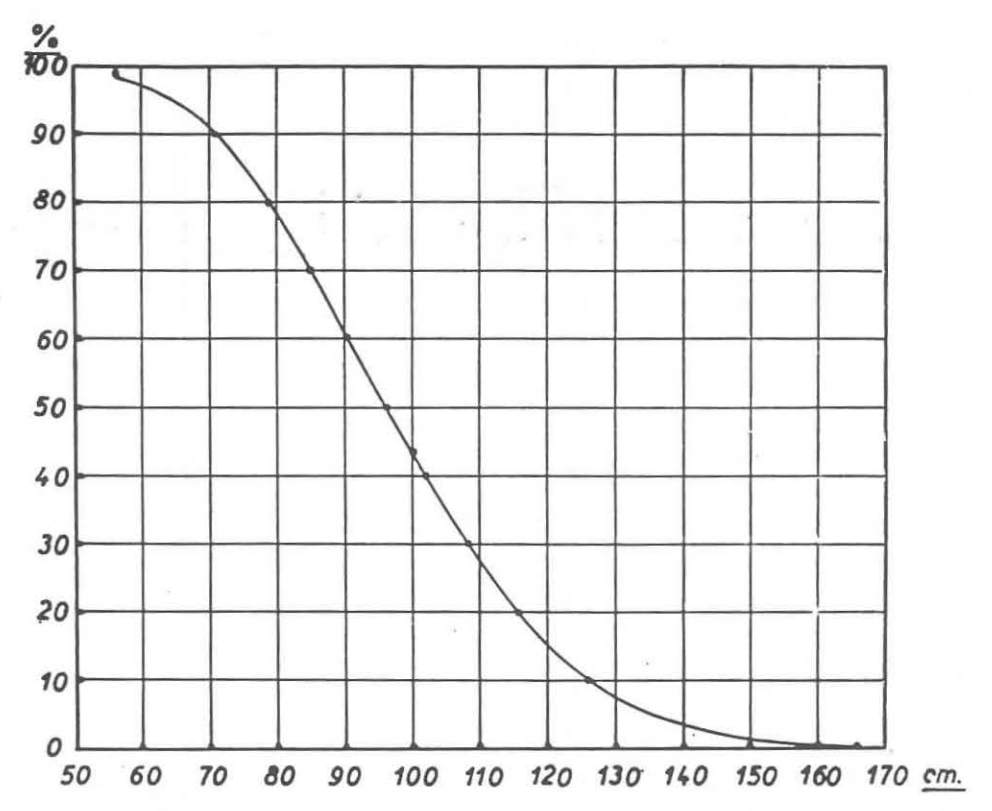


Figure 12. — Répartition des tiges en catégories de circonférence ; fréquences cumulées à partir des plus gros bois : pourcentage de bois supérieurs à une dimension donnée. (D'après Jedlinski, pour une circonférence moyenne de 100 cm)

médians C_i espacés de 10 centimètres (C_i = 50, 60, 70, ...), on lit sur ce graphique les fréquences cumulées F_i aux limites de catégories (55, 65, 75, ...) et, par différence, on calcule les fréquences théoriques f_i de chaque catégorie (Figure 13 et tableau 17).
Par exemple, pour C_i = 110, le pourcentage total de bois de la catégorie envisagée et des catégories supérieures est, graphiquement. F_{110} = 34.2 ; de même, F_{120} = 20.2. D'où on tire : f_{110} = 34.2 — 20.2 = 14 (*). D'une manière générale,

$$f_i = F_i - F_{i+1}.$$

3° Pour des hêtraies âgées de plus de 130 ans, ou âgées de 100 à 130 ans et de hauteur moyenne supérieure à 25 mètres, WIEDEMANN (1936) renseigne les valeurs théoriques de la différence (H_i — H.) entre la hauteur d'un arbre et la hauteur moyenne du peuplement. pour plusieurs valeurs de la différence (D_i — D.) entre le diamètre du même arbre et le diamètre moyen du peuplement

(*) Les fréquences f_i du tableau 17 ont été harmonisées afin de disposer de nombres entiers, sauf dans les catégories extrêmes.

Col. 1 C_i	Col. 2 F_i	Col. 3 f_i	Col. 4 C_i—C.	Col. 5 H_i—H.	Col. 6	Col. 7	Col. 8
	100					— 34.5	— 0.35
50		0.8	— 50	— 5.4	— 4.3		
	99.2					— 30.2	— 0.30
60		4	— 40	— 3.5	— 14.0		
	95.2					— 16.2	— 0.17
70		10	— 30	— 2.2	— 22.0		
	85.2					5.8	0.07
80		16	— 20	— 1.3	— 20.8		
	69.2					26.6	0.38
90		18	— 10	— 0.6	— 10.8		
	51.2					37.4	0.73
100		17	0	0	0		
	34.2					37.4	1.09
110		14	10	0.6	8.4		
	20.2					29.0	1.44
120		9	20	1.1	9.9		
	11.2					19.1	1.71
130		6	30	1.5	9.0		
	5.2					10.1	1.94
140		3	40	1.8	5.4		
	2.2					4.7	2.14
150		1.8	50	2.1	3.8		
	0.4					0.9	2.25
160		0.4	60	2.3	0.9		

TABLEAU 17 : Calcul de la hauteur moyenne d'un certain pourcentage des plus gros bois

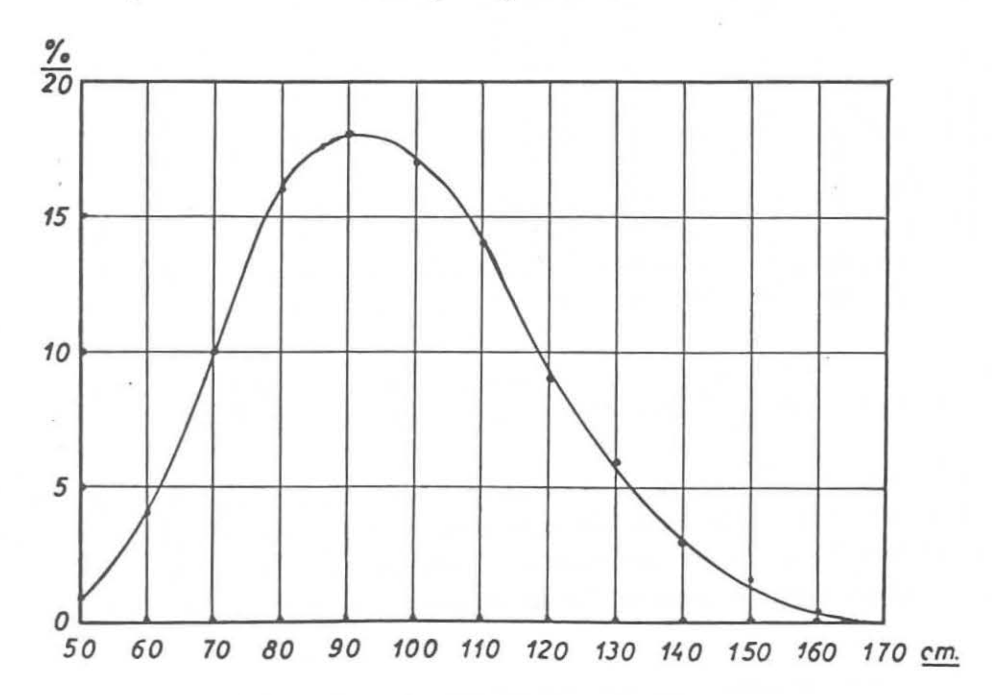


Figure 13. — Répartition des tiges en catégories de circonférence : fréquences relatives (en %) par catégories de 10 cm. (D'après Jedlinski, pour une circonférence moyenne de 100 cm)

(Tableau 18) (*). En se basant sur ces résultats et sur quelques données complémentaires dues au même auteur mais renseignées par GRUNDNER et SCHWAPPACH (1952), il est possible de dessiner la courbe représentant cette relation, et établie en fonction des différences de circonférence (Fig. 14). On recherche sur celle-ci les différences de hauteur (H_i — H.) correspondant aux différences de circonférence (C_i — C.), pour les points médians des catégories considérées (Tableau 17, colonnes 4 et 5).

D_i — D. (cm)	— 15	— 10	— 5	0	5	10	15
H_i — H. (m)	— 4.8	— 2.4	— 1.0	0	0.9	1.5	2.0

TABLEAU 18 : Différence entre la hauteur (H_i) d'un arbre et la hauteur moyenne (H.) du peuplement, pour plusieurs valeurs de la différence entre le diamètre (D_i) du même arbre et le diamètre moyen (D.) (D'après Wiedemann, 1936)

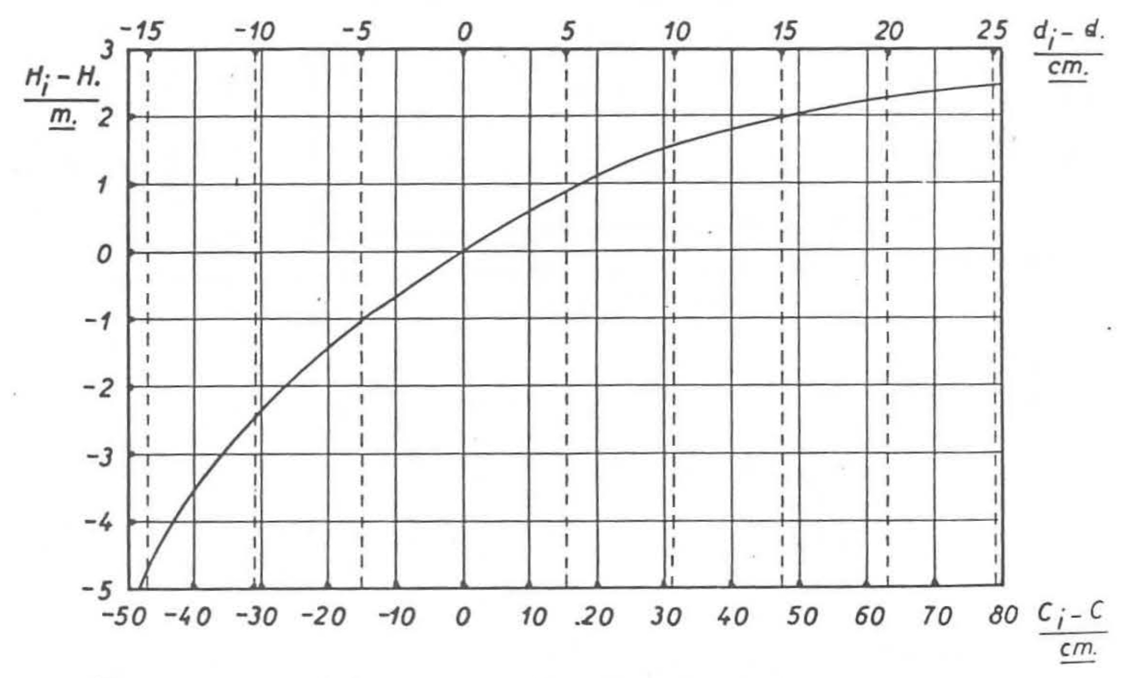


Figure 14. — Relation entre la circonférence et la hauteur des arbres. dans des hêtraies équiennes et âgées. (D'après Wiedemann)

4° Connaissant ces différences de hauteur et connaissant la répartition des bois en catégories de circonférence, on peut calculer la différence entre la hauteur moyenne arithmétique des bois de circonférence supérieure à une certaine dimension et la hauteur moyenne

(*) La hauteur moyenne du peuplement envisagée par Wiedemann est la hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne ; elle peut être confondue avec la moyenne de Lorey dans le cas de hêtraies éclaircies normalement. (Cf. Première partie, p. 258).

du peuplement. Considérons par exemple les bois de plus de 125 centimètres de tour : sur un total de 100 bois, il y a :

6 bois de 125 à 135 cm,
3 bois de 135 à 145 cm,
1.8 bois de 145 à 155 cm,
0.4 bois de 155 à 165 cm.

Les hauteurs moyennes de ces différentes catégories sont respectivement (H. + 1.5 m), (H. + 1.8 m), (H. + 2.1 m) et (H. + 2.3 m). La moyenne arithmétique de ces 11.2 bois est :

$$\frac{6(H. + 1.5) + 3(H. + 1.8) + 1.8(H. + 2.1) + 0.4(H. + 2.3)}{6 + 3 + 1.8 + 0.4}$$

$$= \frac{(H.)\ (6 + 3 + 1.8 + 0.4)}{6 + 3 + 1.8 + 0.4} + \frac{(6 \times 1.5) + (3 \times 1.8) + (1.8 \times 2.1) + (0.4 \times 2.3)}{6 + 3 + 1.8 + 0.4}$$

$$= H. + \frac{9.0 + 5.4 + 3.8 + 0.9}{11.2} = H. + \frac{19.1}{11.2} = H. + 1.71 \text{ mètres.}$$

Cette dernière relation indique que la hauteur moyenne arithmétique des 11.2 % plus gros bois est supérieure de 1.7 mètre à la hauteur moyenne du peuplement.

Le tableau 17 réunit les calculs analogues effectués pour les diverses catégories de circonférence. Les chiffres de la colonne 6 sont obtenus en effectuant le produit $f_i\ (H_i - H.)$, c'est-à-dire (col. 3) x (col. 5). La colonne 7 présente les valeurs $\Sigma\ f_i\ (H_i - H.)$, la somme portant dans chaque cas sur la catégorie envisagée (C_i) et les catégories supérieures ; ces valeurs sont calculées en sommant successivement les produits $f_i\ (H_i - H.)$ à partir du bas du tableau.

Les résultats finaux $\frac{\Sigma\ f_i\ (H_i - H.)}{\Sigma\ f_i}$ ou $\frac{\Sigma\ f_i\ (H_i - H.)}{F_i}$

sont obtenus en divisant les valeurs de la colonne 7 par les fréquences cumulées de la colonne 2.

5° On établit ensuite la courbe représentant les différences de hauteur (colonne 8) enregistrées pour les différentes fréquences cumulées. Ce graphique (Fig. 15) permet de trouver la différence de hauteur entre la moyenne arithmétique de n'importe quel pourcentage des plus gros bois (H_F) et la moyenne du peuplement (H.).

6° Des courbes analogues ont été calculées pour d'autres valeurs de la circonférence moyenne : C. = 120 cm, 140 cm et 160 cm. Le tableau 19 renseigne les différences de hauteur lues sur ces courbes, puis harmonisées.

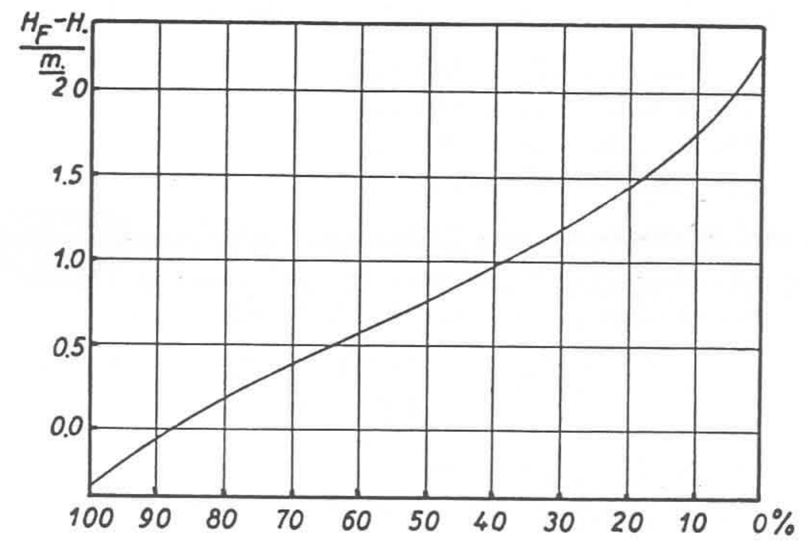


Figure 15. — Différence entre la hauteur moyenne arithmétique d'un certain pourcentage des plus gros bois et la hauteur moyenne du peuplement, pour une circonférence moyenne de 100 cm

C. =	100	120	140	160
20 %	1.43	1.58	1.74	1.90
30 %	1.19	1.33	1.48	1.62
40 %	0.97	1.09	1.21	1.33
50 %	0.76	0.86	0.95	1.04
60 %	0.58	0.64	0.69	0.74

TABLEAU 19 : Différence entre la hauteur moyenne arithmétique des 20, 30, 40, 50 et 60 % plus gros bois et la hauteur moyenne du peuplement, dans des hêtraies équiennes âgées et de circonférence moyenne égale à 100, 120, 140 ou 160 cm

7° *Conclusions*

La circonférence moyenne des forêts étudiées est généralement comprise entre 100 et 160 centimètres (Cf. notamment le tableau 12, p. 394). Dans les peuplements de grosseur moyenne faible (C. = 100 cm par exemple), comprenant un plus grand nombre de bois à l'hectare, les différences données au tableau 19 sont petites, mais ceci est compensé par le fait qu'on y mesure, en vue de déterminer le critère de station, un pourcentage plus réduit du nombre total de bois (5 arbres choisis approximativement sur 6 ares, soit *en moyenne* 40 à 50 % des tiges).

Dans ces conditions, on peut admettre que *la différence entre le critère de station proposé et la hauteur moyenne du peuplement oscille autour de un mètre,* et cette valeur peut être utilisée comme terme correctif uniformément dans tous les peuplements.

b. EXTRAPOLATION DE LA CROISSANCE EN HAUTEUR

Pour ne pas introduire d'erreurs importantes dans l'extrapolation, il faut considérer la courbe des accroissements périodiques en hauteur et non pas directement la courbe de croissance en hauteur.

La figure 16 représente les accroissements de hauteur observés au cours de périodes de 5 ans. La partie gauche de la figure est établie d'après les tables de WIEDEMANN (classes II à IV), la partie droite est déterminée par extrapolation.

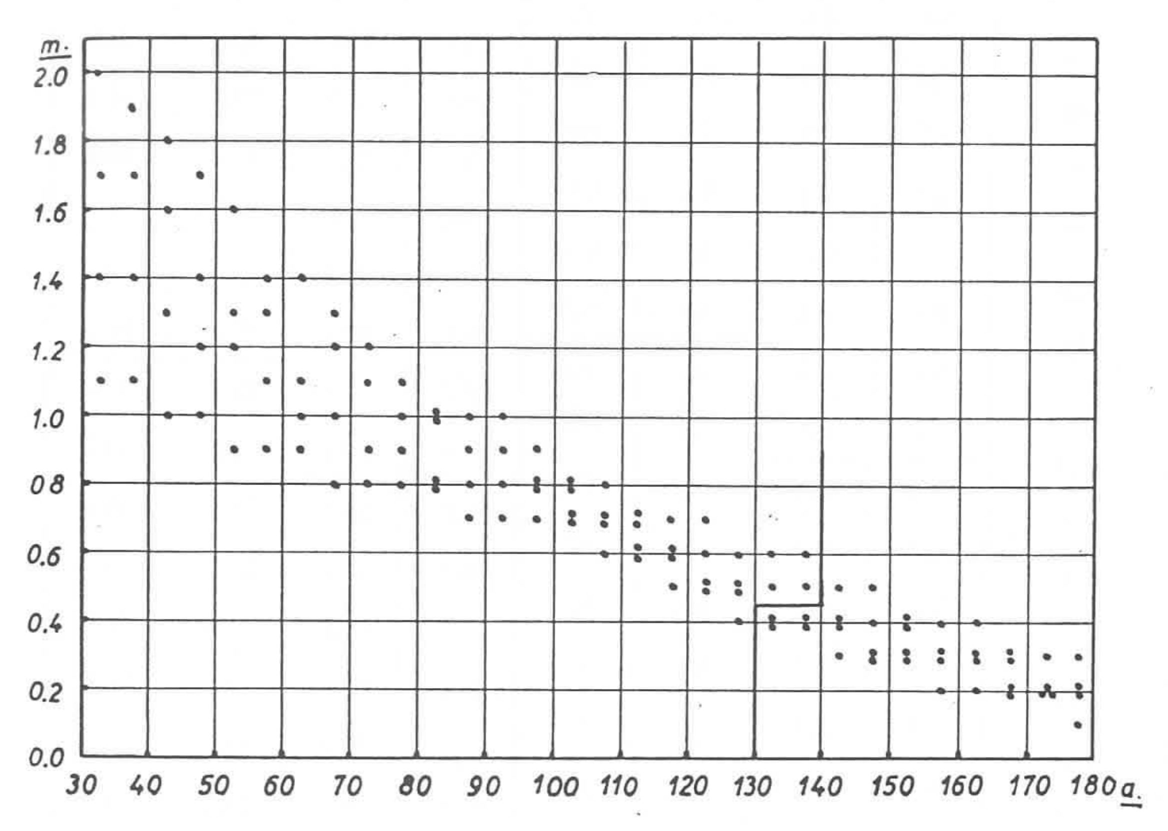


Figure 16. — Accroissement périodique en hauteur du hêtre dans les classes II, III, IV et V de Wiedemann. (Périodes de 5 ans)

Le tableau 20 reprend les valeurs de ces accroissements périodiques à partir de 100 ans, et donne les hauteurs moyennes du peuplement. Avant 140 ans dans les classes II et III, 130 ans dans les classes IV et V, ces valeurs sont simplement transcrites des tables de WIEDEMANN (Tableau 15, p. 397) ; entre 140 (ou 130) et 180 ans, elles sont calculées par addition des accroissements périodiques.

c. REMARQUE

Les deux facteurs correctifs définis ci-dessus ne peuvent pas provoquer d'erreurs importantes dans l'utilisation des tables de productivité. L'erreur ne peut en effet qu'être une fraction des termes correctifs

eux-mêmes, et serait donc de l'ordre de quelques décimètres. Or une différence de 25 à 30 centimètres est en fait égale à 1 % de la hauteur totale.

Age	Accroissement périodique en hauteur				Hauteur moyenne			
	II	III	IV	V	II	III	IV	V
100					27.8	23.5	19.2	14.9
	0.8	0.8	0.7	0.7				
105					28.6	24.3	19.9	15.6
	0.8	0.7	0.7	0.6				
110					29.4	25.0	20.6	16.2
	0.7	0.7	0.6	0.6				
115					30.1	25.7	21.2	16.8
	0.7	0.6	0.6	0.5				
120					30.8	26.3	21.8	17.3
	0.7	0.6	0.5	0.5				
125					31.5	26.9	22.3	17.8
	0.6	0.5	0.5	0.4				
130					32.1	27.4	22.8	18.2
	0.6	0.5	0.4	0.4				
135					32.7	27.9	23.2	18.6
	0.6	0.5	0.4	0.4				
140					33.3	28.4	23.6	19.0
	0.5	0.4	0.4	0.3				
145					33.8	28.8	24.0	19.3
	0.5	0.4	0.3	0.3				
150					34.3	29.2	24.3	19.6
	0.4	0.4	0.3	0.3				
155					34.7	29.6	24.6	19.9
	0.4	0.3	0.3	0.2				
160					35.1	29.9	24.9	20.1
	0.4	0.3	0.3	0.2				
165					35.5	30.2	25.2	20.3
	0.3	0.3	0.2	0.2				
170					35.8	30.5	25.4	20.5
	0.3	0.2	0.2	0.2				
175					36.1	30.7	25.6	20.7
	0.3	0.2	0.2	0.1				
180					36.4	30.9	25.8	20.8

TABLEAU 20 : Accroissement périodique en hauteur et hauteur moyenne de hêtraies de 100 à 180 ans, dans les classes de productivité II, III, IV et V. (Périodes de 5 ans).

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE DE LA DEUXIEME PARTIE

ASSELBERGHS, E. — 1946 — L'éodévonien de l'Ardenne et des régions limitrophes. - *Mém. Inst. géol. Univ. Louvain*, **14**, 1-598.

ASSMANN, E. — 1949 — Zur Ertragstafelfrage - *Forstwiss. Centralbl.* **68**, 414-430.

AVRIL, P. — 1953 — Texte explicatif de la planchette de Saint-Hubert (195/E). - Carte des sols de la Belgique, I.R.S.I.A.

BEHRE, C. E. — 1928 — Preliminary normal yield tables for second-growth western yellow pine in Northern Idaho and adjacent areas - *Journ. agr. Res.* **37**, 379-397.

BELYEA, H. C. — 1931 — Forest mensuration - Wiley and Sons, New York.

BOUDRU, M. — 1945 — Les conditions climatologiques en Belgique - *Bull. Soc. Centr. For. Belg.* **52**, 145-169 (ou : *Stat. Rech. Groenendael. Travaux*, série A, n° **1**, 1941).

BOUDRU, M. — 1946 — Les zones climatiques en Belgique - *Bull. Soc. Centr. For. Belg.* **53**, 67-72.

BOUDRU, M. — 1952 — Considérations sur la futaie jardinée de chênes - *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux* **20**, 155-177.

BOUDRU, M. — 1953-1954 — Les forêts en Belgique — Inst. agron. Gembloux, notes de cours.

BOUDRU, M. — 1954a — Ecologie forestière - Id.

BOUDRU, M. — 1954b — Questions spéciales de sylviculture - Id.

BRAUN-BLANQUET, J. — 1951 — Pflanzensoziologie - Springer verlag, Vienne, 2me édit., 612 pp.

BROWN, J. M. B. — 1953 — Studies on British beechwoods - *For. Comm.*, **Bull. 20**, 100 pp.

BRUCE, D. et REINEKE, L. H. — 1929 — The use of alignment charts in constructing forest stand tables - *Journ. agr. Res.* **38**, 289-308.

BRUCE, D. et REINEKE, L. H. — 1931 — Correlation alignment charts in forest research - *U.S.D.A. Tech. Bull.* **210**, 87 pp.

BRUCE, D. et SCHUMACHER, F. X. — 1950 — Forest mensuration - Mc Graw Hill and C°, 483 pp.

CHAPMAN, H. H. et MEYER, W. H. — 1949 — Forest mensuration - Mc Graw Hill and C°, 522 pp.

COLETTE, L. — 1952 — La coupe, intensité et rotation - *Bull. Soc. Roy. For. Belg.* **59**, 84-89.

DAGNELIE, P. — 1956 — Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques. Première partie : Recherche d'un critère de station utilisable dans les hêtraies d'Ardenne - *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux* **24**, 249-284.

DECKERS, J. — 1953 — Texte explicatif de la planchette de Champlon (187/W) - Carte des sols de la Belgique, I.R.S.I.A.

DELECOUR, F., AVRIL, P. et PHILIPPOT, R. — 1954 — Etude systématique des types de profil de la planchette 195/E de Saint-Hubert : description des profils et répertoire des résultats analytiques - Centre de Rech. pédol., Inst. agron. Gembloux (I.R.S.I.A.).

ETTER, H. — 1949 — Ueber die Ertragsfähigkeit verschiedener Standortstypen - *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw.* **26**, 91-151.

FLURY, Ph. — 1907 — Ertragstafeln für die Fichte und Buche der Schweiz - *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw.* **9**, 1-290.

GAIBAR-PUERTAS, C. et HOGE, E. — 1951 — Description et interprétation provisoire de quelques observations géomagnétiques et géologiques effectuées sur le massif de Serpont - *Bull. Soc. Belge Géol.* **60,** 374-397.

GALOUX, A. — 1952 — Les grands problèmes de sylviculture en Belgique - *Bull. Soc. Roy. For. Belg.* **59,** 90-113.

GALOUX, A. — 1954 — Phytosociologie et applications sylvicoles - *Cong. intern. Bot.*, Paris, Section 13, 31-34.

GEHRHARDT, E. — 1930a — Eine neue (mehrteilige) Buchen-Ertragstafel an Stelle meiner Tafeln von 1909 und 1924 - *Allg. Forst- u. Jagdz.* **106,** 41-58.

GEHRHARDT, E. — 1930b — Ertragstafeln für reine und gleichartige Hochwaldbestände von Eiche, Buche, Tanne, Fichte, Kiefer, grüner Douglasie und Lärche - Springer Verlag, Berlin, 73 pp.

GRUNDNER, F. et SCHWAPPACH, A. — 1952 — Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbaüme und Waldbestände - Paul Parey, Berlin, 216 pp.

HOYOIS, G. — 1949-1953 — L'Ardenne et l'Ardennais - Duculot, Gembloux, 2 vol.

JEDLINSKI, W. — 1932 — De l'utilisation des courbes de répartition de grosseur et de hauteur d'arbres, soit comme moyen d'investigation de la structure biologique des peuplements, soit pour préciser et représenter clairement les différents modes d'éclaircie. (Texte allemand) - *C-R. Cong. Union intern. Inst. Rech. For.*, Nancy, 275-298.

LEBRUN, J., NOIRFALISE, A., HEINEMANN, P. et VANDEN BERGHEN, C. — 1949 — Les associations végétales de Belgique - *Centre Rech. écol. et phytosoc. Gembloux.* **Comm. 8** ou : *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **82,** 105-207.

MANIL, G., MARTIN, L., COLLIN, E., EVRARD, R. et GRUBER, R. — 1953 — Les sols forestiers de l'Ardenne : le Plateau de Saint-Hubert - Nassogne (Première étude) - *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux* **21,** 42-130.

MANIL, G. et AVRIL, P. — 1955 — Quelques aspects du problème du pédoclimax en Haute-Ardenne belge - *C-R. Cong. intern. Bot.*, Paris, section 13.

MITSCHERLICH, G. — 1950 — Die Bedeutung der Wuchsgebiete für das Bestandeswachstum von Buche, Eiche, Erle und Birke - *Forstwiss. Centralbl.* **69,** 184-211.

NOIRFALISE, A. — 1948-1949 — Premier aperçu sur l'étage du hêtre et les types de hêtraies en Haute-Ardenne - *Centre Rech. écol. et phytosoc. Gembloux*, **Comm. 10** ou : *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux,* **17,** 76-100.

NOIRFALISE, A. — 1956 — La hêtraie ardennaise - *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux* **24,** 208-239.

NOIRFALISE, A. et GALOUX, A. — 1950 — Les étages de végétation dans l'Ardenne belge - *Stat. Rech. Groenendael, Trav.*, série **A,** n° **6** ou : *Centre Rech. écol. et phytosoc.* Gembloux, **Comm. 11,**

OPPERMANN, A. — 1915 — Gute dänische Buchenwälder - *Det forstlige Forsögsvaesen i Danmark,* **4,** 341-380.

PECROT, A. et AVRIL, P. — 1954 — Les sols ardennais. Etude morphologique et génétique des sols bruns acides et des sols podzoliques de Saint-Hubert - *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux* **22,** 52-75.

PONCELET, L. et MARTIN, H. — 1947 — Esquisse climatographique de la Belgique - *Inst. Roy. météor. Belg.*, **Mém. 27,** 265 pp.

PRIGNON, M. — 1954 — Aménagement de la Forêt communale de Luchy - Inst. agron. Gembloux, travail de fin d'études, 411 pp.

REGINSTER, P. — 1955 — La productivité stationnelle des hêtraies d'Ardenne - *Bull. Soc. Roy. For. Belg.* **62,** 1-8.

ROISIN, P. — 1952 — La reforestation d'un sart en Ardenne - *Bull. Soc. Roy. For. Belg.* **59,** 353-399.

SCHWAPPACH, A. — 1912 — Ertragstafeln der wichtigeren Holzarten - Neumann Verlag, Neudamm, 81 pp.

TONNARD. V. — 1955 — La pédogénèse dans la Forêt de Saint-Michel - *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux* **23,** 66-89.

WAUTHOZ, M. V. — 1950 — L'Ardenne : paysages forestiers d'autrefois, d'aujourd'hui, de demain - *Bull. Soc. Centr. For. Belg.* **57,** 361-378.

WIEDEMANN, E. — 1932 — Die Rotbuche - *Mitt. aus Forstwirt. u. Forstwiss.* 1932.

WIEDEMANN, E. — 1936 — Ueber die Vereinfachtung der Höhenermittlung bei den Vorratsaufnahmen - *Mitt. aus Forstwirt. u. Forstwiss.* **4,** 387-412.

WIEDEMANN ,E. — 1949 — Ertragstafeln der wichtigsten Holzarten - Schaper, Hannover.

WIEDEMANN, E. — 1950-1951 — Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft - Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 346 pp.

WIMMER, E. — 1914 — Ertrags- und Sortimentuntersuchungen im Buchenhochwalde - *Mitt. forst. Versuchw. Badens* **2.**

RESUME DE LA DEUXIEME PARTIE

1° Quatre-vingts places d'essai ont été localisées en Ardenne centrale dans des groupes de futaie suffisamment homogène au point de vue des conditions écologiques, du type phytosociologique et des caractéristiques du peuplement. Le relevé effectué dans chacune d'elle s'étend aux principaux caractères écologiques (topographie, pente, exposition, altitude, géologie et pédologie), à certains caractères forestiers du peuplement (densité, vitalité apparente, conformation extérieure des fûts, état sanitaire du bois, importance de la régénération) ; il comprend également un relevé phytosociologique. La description des stations est résumée en un tableau à l'aide de signes conventionnels (Annexe).

2° Des *mesures de hauteur, devant servir à l'estimation de la productivité,* ont été effectuées à l'aide d'un niveau d'Abney. Deux angles sont mesurés, l'un (α) en visant vers le sommet de l'arbre, l'autre (β) vers le pied ; et, les angles situés au-dessus de l'horizontale étant considérés comme positifs, la hauteur est calculée par la formule $H = 30\ (tg\alpha - tg\beta)\ cos\ (\beta + 3°)$. Celle-ci peut être résolue graphiquement (Figure 9) ou numériquement (Tableau 4).

Certaines mesures effectuées dans la Forêt de Saint-Hubert montrent que cette méthode n'est pas entachée d'une erreur systématique importante. Sa précision est aussi suffisante : en première estimation, l'erreur moyenne due à la méthode de mesure serait de 0.76 mètre, soit 2.7 % (Tableau 5).

Les résultats obtenus dans deux parcelles d'essai soulignent les difficultés rencontrées dans la définition des strates : strates dominante, codominante, intermédiaire et dominée (Tableau 6). A la suite de cette

observation, la méthode de l'indice de station a été abandonnée : *le critère finalement choisi est la hauteur moyenne des cinq plus gros bois situés sur une surface approximative de six ares, ce qui correspond à la hauteur moyenne des 40 à 50 % plus gros bois.*

Si, dans chaque station, ces cinq arbres sont mesurés chacun deux fois, l'erreur sur la moyenne des dix mesures est de 0.24 mètre, soit 0.8 %. Le critère ainsi défini semble donner des résultats légèrement supérieurs à la hauteur moyenne des dominants et codominants ; il peut être appliqué sans distinction avant ou après éclaircie (Tableaux 7 et 8). Parmi les tiges servant à définir ce critère de station, la variance serait comprise entre 1.5 et 5 (Tableau 9).

Dans les diverses places d'essai, la *circonférence* des cinq arbres définis ci-dessus est mesurée, et quelques déterminations d'*âge*, par comptage des cernes sur des souches fraîches, complètent les données dendrométriques.

Les résultats numériques obtenus sont exprimés par quelques valeurs caractéristiques : hauteur moyenne, variance et amplitude de la hauteur, circonférence moyenne, âge moyen. Celles-ci sont groupées dans les dernières colonnes de l'annexe.

3° En l'absence de données propres aux hêtraies ardennaises, les *tables de productivité* établies par WIEDEMANN pour des hêtraies fortement éclaircies sont utilisées (Tableau 15).

En considérant la répartition des bois en catégories de grosseur, selon les déciles de Jedlinski, et en utilisant des tables de la relation entre les catégories de grosseur et les catégories de hauteur, il apparaît que la hauteur moyenne des cinq plus gros bois d'une surface de six ares est supérieure de 1 mètre à la hauteur moyenne du peuplement (moyenne de LOREY, pondérée par la surface terrière). Cette différence sert, indépendamment de l'âge et de la qualité de la station, à établir la liaison entre les peuplements étudiés et les tables de productivité. Dans ce but, il est également nécessaire d'étendre, par extrapolation, les courbes de croissance en hauteur données par WIEDEMANN (Tableau 20).